



LABORATÓRIO NACIONAL
DE ENGENHARIA CIVIL

DEPARTAMENTO DE TRANSPORTES
Núcleo de Planeamento, Tráfego e Segurança

Proc. 0703/14/16605

SAFESIDE – SINISTRALIDADE ENVOLVENDO A ÁREA ADJACENTE À FAIXA DE RODAGEM

Estimativa do custo dos acidentes por saída da faixa de rodagem

Estudo financiado pela Fundação para a Ciência
e Tecnologia

Lisboa • Dezembro de 2011

I&D TRANSPORTES

RELATÓRIO 392/2011 – NPTS

**SAFESIDE - SINISTRALIDADE ENVOLVENDO A
ÁREA ADJACENTE À FAIXA DE RODAGEM**

**ESTIMATIVA DO CUSTO DOS ACIDENTES POR SAÍDA DA FAIXA DE
RODAGEM**

SUMÁRIO

O presente relatório foi elaborado no âmbito do projecto de I&D, co-financiado pela Fundação para a Ciência e a Tecnologia, designado SAFESIDE – Sinistralidade envolvendo a área adjacente à faixa de rodagem, o qual está integrado no projecto “Rodovias auto-explicativas e tolerantes” do Plano de Investigação Programada 2009-2012 do Laboratório Nacional de Engenharia Civil. O propósito do projecto SAFESIDE consiste em desenvolver um método racional de avaliação dos efeitos das características da área adjacente à faixa de rodagem (AAFR) sobre a sinistralidade, baseado nos resultados da análise da sinistralidade ocorrida nas estradas portuguesas.

Neste relatório, elaborado no âmbito da tarefa WP 6 designada “Estimativa do Custo dos Acidentes por Saída da Faixa de Rodagem”, é feito o enquadramento da análise económica da AAFR, focando as metodologias para a avaliação de investimentos em segurança rodoviária, nomeadamente as análises custo-benefício (ACB) e custo-eficácia (ACE). São igualmente analisados os diversos critérios de avaliação da gravidade das consequências associadas a um despiste e estimada a gravidade esperada deste tipo de acidente, bem como os custos associados às intervenções correctivas na AAFR.

Por último, é apresentada uma abordagem prática para a estimativa dos custos médios para um conjunto de cenários de despistes. Os custos médios são estimados para o caso geral de despiste e para dois cenários. Para esse efeito, são utilizadas a gravidade esperada das lesões, os resultados da estimativa dos custos de sinistralidade em Portugal e, sempre que necessário, os dados relevantes disponíveis noutros países.

SAFESIDE - ROADSIDE SAFETY

RAN-OFF-THE-ROAD ACCIDENT COSTS

ABSTRACT

This report was developed in the scope of Workpackage 6 – Ran-off-the-road Accident Costs of SAFESIDE - Roadside Safety project, co-financed by the Fundação para a Ciência e a Tecnologia and carried out under the “Self explaining and forgiving roads” project of the Programmed Research Plan 2009-2012 at Laboratório Nacional de Engenharia Civil. The aim of the project is to develop a method for assessing the influence of roadside characteristics in Portuguese road safety. The method will be based in Portuguese data and experience.

In this report, a roadside safety economic analysis is presented, focusing on methodologies for evaluation of road safety investments, including cost-benefit and cost-effectiveness analysis. Various criteria for evaluating the severity of consequences associated with ran-off-the-road accidents are also analyzed and the expected injury severity of this type of accident is estimated, as well as costs associated with roadside interventions.

Finally, a practical approach to estimation of average costs for the set of ran-off-the-road accident scenarios is presented. The average costs for the general case of a ran-off-the-road accident and for two scenarios are estimated using expected injury severity, estimated accident costs in Portugal and, when necessary, relevant data collected in other countries.

ÍNDICE

1	INTRODUÇÃO	1
2	ANÁLISE ECONÓMICA DAS INTERVENÇÕES NA AAFR	3
2.1	Generalidades.....	3
2.2	Metodologias para a avaliação económica de investimentos em segurança rodoviária.....	7
2.2.1	Rácio eficácia-custo e benefício-custo	9
2.3	Análise Custo-Benefício de Elementos da AAFR.....	12
3	GRAVIDADE ESPERADA DO EMBATE	22
3.1	Definições.....	22
3.2	Critérios de Avaliação da Gravidade das Consequências Associadas a Despistes	24
3.2.1	Critérios de avaliação baseados em dispositivos de ensaio antropométricos....	25
3.2.2	Critérios de avaliação baseados no veículo.....	28
3.3	Relação entre Critérios de Avaliação.....	31
3.3.1	Relação entre ASI e HIC.....	33
3.3.2	Relação entre ASI e AIS.....	35
3.3.3	Relação entre HIC e AIS.....	37
3.3.4	Relação entre HIC e MAIS.....	38
3.4	Gravidade Esperada dos Acidentes Envolvendo a AAFR	39
4	MONETARIZAÇÃO DAS INTERVENÇÕES E SEUS IMPACTES	43
4.1	Custos das Intervenções Correctivas	43
4.2	Estimativas para o Custo Sócio-Económico dos Acidentes Rodoviários	46
5	CONCLUSÕES	52
	BIBLIOGRAFIA	55

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 1 – Classificação de medidas de segurança rodoviária com base no rácio B/C (adaptado de [63]).....	20
Quadro 2 – Partes do corpo utilizadas para o cálculo da AIS.....	26
Quadro 3 – Escala abreviada de lesão (adaptado de [66]).	26
Quadro 4 – Níveis de gravidade do embate de acordo com a EN 1317 (adaptado de [23]).	30
Quadro 5 – Número médio de mortos, feridos graves e feridos leves por 10 ⁶ veículos×km.....	42
Quadro 6 – Preços unitários das intervenções correctivas (€ a preços de 2010)	45
Quadro 7 – Estimativa de custos de acidentes para Portugal (€ a preços de 2010).....	51

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 – Avaliação sistemática dos investimentos em matéria de segurança rodoviária [4].....	8
Figura 2 – Processo de análise da segurança da AAFR (adaptado de [54]).....	18
Figura 3 – Ensaio de choque com dispositivo de ensaio antropométrico [36].....	25
Figura 4 – Cálculo de Delta-V (adaptado de [26]).....	31
Figura 5 – <i>Dummy Hybrid III</i> masculino adulto do percentil 50 [65].....	34
Figura 6 – Relação entre ASI e HIC [66].....	34
Figura 7 – Relação entre ASI longitudinal e MAIS num embate frontal (adaptado de [28]).....	36
Figura 8 – Relação entre HIC e AIS [66].....	38
Figura 9 – Probabilidade de lesão na cabeça em função do HIC_{15} para um dispositivo de ensaio antropométrico masculino adulto do percentil 50 (com base em valores de Mertz, H.J.; Prasad, P.; and Irwin, N.L. (1997), citado em [55]).....	39
Figura 10 – Avaliação monetária da prevenção de uma vitima fatal em acidente rodoviário em 23 países - Preços de 2002 em PPC (adaptado de [18]).....	49

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO I – Glossário das abreviaturas mais utilizadas.....	67
---	----

1 INTRODUÇÃO

O presente relatório foi elaborado no âmbito do projecto de I&D PTDC/TRA/74520/2006 designado SAFESIDE – Sinistralidade envolvendo a área adjacente à faixa de rodagem. O propósito do projecto SAFESIDE consiste em desenvolver um método racional de avaliação dos efeitos das características da área adjacente à faixa de rodagem (AAFR) sobre a sinistralidade, baseado nos resultados da análise estatística dos acidentes ocorridos nas estradas portuguesas.

O projecto foi estruturado em 8 tarefas, designadas abreviadamente de WP, tendo o presente relatório sido elaborado no âmbito da tarefa WP 6 cujo objectivo específico consiste no desenvolvimento de uma abordagem prática para a estimativa dos custos médios dos acidentes envolvendo a saída da faixa de rodagem para o conjunto de cenários destes despistes mais frequentes, conforme identificado no WP4. Uma vez que a tarefa WP4 se encontra com atraso, motivado pela dificuldade na recolha dos dados, os custos médios foram estimados para o caso geral de um despiste (e para dois cenários, estradas de uma ou duas faixas de rodagem, sem especificação do tipo de obstáculo envolvido e das características da infra-estrutura ou do veículo). Para esse efeito, foram utilizadas a gravidade esperada da lesão, os resultados da estimativa dos custos de sinistralidade em Portugal e, sempre que necessário, os dados relevantes disponíveis noutros países.

No Capítulo 2 é feito o enquadramento da análise económica das intervenções na AAFR, focando as metodologias para a avaliação de investimentos em segurança rodoviária (e em particular das intervenções na AAFR), nomeadamente as análises custo-benefício (ACB) e custo-eficácia (ACE).

O Capítulo 3 é dedicado à gravidade esperada das lesões associadas a um acidente envolvendo a AAFR, sendo definidos e relacionados os diversos critérios de avaliação da gravidade das consequências associadas a um despiste e estimada a gravidade esperada deste tipo de acidente.

No Capítulo 4 são analisados os custos médios associados às intervenções na AAFR, mais concretamente os custos das intervenções correctivas e estimativas existentes do valor da prevenção de acidentes rodoviários.

No último capítulo apresentam-se as principais conclusões do presente relatório.

2 ANÁLISE ECONÓMICA DAS INTERVENÇÕES NA AAFR

2.1 Generalidades

A aplicação sistemática das normas de traçado no projecto de estradas contribui para níveis elevados de segurança dos condutores. Elementos do traçado tais como a curvatura horizontal e a largura da faixa de rodagem, ou a sinalização, têm um papel importante na forma como o condutor executa a tarefa de manter o veículo na faixa de rodagem.

As autoridades rodoviárias são frequentemente confrontadas com a necessidade de tomar decisões relativas a investimentos em segurança rodoviária (as quais podem incluir a ponderação dos efeitos das características da AAFR na sinistralidade), sendo importante a aplicação de métodos de análise para apoiar o decisor e contribuir para uma boa gestão dos recursos disponíveis para esse efeito. Assim, face à actual conjuntura de elevada procura de transporte e de escassez de recursos disponíveis, exige-se uma aplicação racional dos investimentos nesta área. Contudo, nem sempre tem sido assim. Os sistemas de retenção de veículos, tais como barreiras de segurança e amortecedores de choque, fornecem uma segurança suplementar a todos aqueles que, inadvertidamente, saem da faixa de rodagem. Em Portugal, a maior parte destes dispositivos são instalados de forma rotineira, baseando-se numa análise subjectiva das vantagens para os condutores.

As intervenções correctivas visam diminuir a frequência esperada de acidentes ou de vítimas bem como a gravidade das lesões nas vítimas. A escolha entre diversas intervenções correctivas face à frequência esperada de acidentes ou de vítimas deve atender aos resultados da aplicação de métodos de avaliação económica, por exemplo do tipo análise custo-benefício (a qual pode ser feita com base em indicadores de rentabilidade como o *Valor Actual Líquido*¹ (VAL) ou a *Taxa Interna de Rentabilidade*² (TIR)). No Reino Unido, por exemplo, utiliza-se uma metodologia que envolve um sistema de pontuação para a segurança

¹ Corresponde à diferença entre o total dos benefícios actualizados e o total dos custos actualizados, pelo que em geral se considera um projecto viável se o VAL > 0 [60].

² Taxa de desconto que corresponderia a um VAL nulo. Se a TIR de um projecto for maior que a taxa de desconto, o projecto gera uma taxa de rentabilidade superior ao custo de oportunidade do capital investido.

e para a avaliação económica de redes rodoviárias [16]. O principal indicador deste sistema de pontuação é a *TIR do primeiro ano de operação do investimento*³ da intervenção a ser avaliada.

Em estudo desenvolvido pela Conferência Europeia de Directores Rodoviários (CEDR) [9] foram analisados 16 países europeus, verificando-se que – com excepção da Eslovénia, onde nenhuma avaliação económica sistemática das intervenções em segurança rodoviária é realizada – todos os países avaliam os benefícios das intervenções e definem prioridades específicas, comparando o custo do projecto a ser realizado com os seus potenciais benefícios. Em resultado do referido estudo, foi possível seleccionar um conjunto de investimentos com efeitos muito significativos sobre a segurança rodoviária e que foram considerados como as mais auspiciosas intervenções na infra-estrutura para melhoria da segurança rodoviária em termos de custo-eficácia. Neste conjunto de investimentos, o destaque é dado àqueles cujos efeitos (benefícios) sobre a segurança são elevados e com custos de implementação preferencialmente mais baixos. Foram definidas cinco áreas de investimento preferenciais, sendo as intervenções na AAFR uma delas. Na maioria dos países analisados neste estudo os programas de segurança rodoviária incluem não só um conjunto de intervenções em segurança rodoviária, como também um conjunto de objectivos a atingir, por exemplo, a redução percentual do número de vítimas mortais durante um determinado período. As intervenções na infra-estrutura para melhoria da segurança rodoviária constituem uma parcela muito significativa do total das intervenções em segurança rodoviária realizadas nos países observados. Estas intervenções podem incluir a construção de novas infra-estruturas ou a reabilitação e melhoria de infra-estruturas já existentes [9]. Refira-se que diversas intervenções na infra-estrutura para melhoria da segurança rodoviária têm elevados custos de construção o que, num contexto cada vez mais condicionado pela escassez dos recursos, torna indispensável a utilização de métodos de análise de eficiência e eficácia. Os critérios utilizados para decidir quais as políticas e os orçamentos na maioria dos países estudados, consistem fundamentalmente na adequação, legalidade e legitimidade das intervenções propostas [9].

³ Razão entre as receitas do primeiro ano e os custos de investimento do projecto. O critério é normalmente utilizado para determinar o ano de abertura óptimo para que se possa conhecer a data preferencial de início de construção [60].

Nos últimos anos, o critério da eficiência na utilização dos recursos tem sido frequentemente referido como indispensável na política de transportes e gestão da mobilidade, sendo que os métodos de avaliação económica podem contribuir para uma maior racionalidade no apoio à selecção e aplicação de medidas de segurança rodoviária, evitando que se tomem decisões de forma meramente rotineira.

Assim, através de instrumentos que avaliem a eficácia das medidas a implementar, as administrações rodoviárias podem fundamentar as decisões relativas à escolha das medidas mais adequadas para a melhoria dos níveis de segurança rodoviária nas redes envolvidas. A selecção e classificação iniciais dos projectos podem ser melhoradas pela aplicação de “Análise Custo-Benefício” (ACB) e “Análise Custo-Eficácia”(ACE), que permitem analisar e comparar a rentabilidade e a adequabilidade destes investimentos. A atribuição de orçamentos para medidas de segurança rodoviária pode começar pela aplicação de medidas isoladas, que são posteriormente agrupadas num programa, de forma a atingir um efeito mais amplo. É possível garantir uma política de segurança rodoviária mais eficaz pela utilização destes instrumentos de avaliação no processo de tomada de decisão.

Importa igualmente referir que a eficácia de uma determinada intervenção ou conjunto de intervenções numa situação particular não garante que a mesma seja válida em todos os contextos. A escolha de um investimento ou de um conjunto de investimentos deverá fundamentar-se necessariamente em estudo de segurança rodoviária adequado, incidindo sobre o contexto rodoviário da respectiva potencial aplicação. Assim, o conhecimento do rácio benefício-custo dos investimentos na infra-estrutura para melhoria da segurança rodoviária pode ser muito útil na selecção de soluções adequadas para diferentes problemas de segurança rodoviária, mas apenas quando acompanhado pela análise aprofundada do caso específico.

No caso de intervenções na infra-estrutura, os custos de implementação e respectivos efeitos variam significativamente. Por exemplo, às alterações ao traçado em planta e em perfil transversal ou ao reforço do pavimento, correspondem geralmente efeitos ao nível da segurança e que podem ser significativos, associados a custos de implementação igualmente elevados [19]. Já no caso das medidas de controlo de tráfego, os custos de implementação

são, na maioria dos casos, baixos, tal como os efeitos ao nível da segurança (havendo, contudo, situações em que os efeitos podem ser mais significativos, como é o caso, por exemplo, da sinalização vertical de código para regulação de cruzamentos prioritários).

Às intervenções correctivas relacionadas com a AAFR são geralmente associados efeitos elevados e custos de implementação relativamente baixos, embora haja casos em que estes custos possam ser significativos (por exemplo, no caso da introdução de zonas livres).

Nesta matéria, importa ainda realçar a actividade do LNEC [47] na rede temática europeia ROSEBUD – “Road Safety and Environmental Benefit-Cost and Cost-Effectiveness Analyses for Use in Decision Making”, dedicada à avaliação económica dos impactes de medidas de segurança rodoviária incluindo os ambientais, financiado no âmbito do 5º Programa Quadro de Investigação e Desenvolvimento da Comissão Europeia.

Os objectivos da rede temática ROSEBUD podem ser resumidos nos seguintes pontos [47]:

- Avaliar os instrumentos de análise de eficiência de medidas de segurança rodoviária, designadamente de ACB, que são utilizados na prática, com identificação dos casos de sucesso, correspondentes resultados e possíveis barreiras à respectiva aplicação;
- Identificar as possíveis barreiras e dificuldades na aplicação da referida análise de eficiência;
- Identificar as vias possíveis para ultrapassar as barreiras e limitações existentes, assim como actuar para a melhoria dos actuais instrumentos e técnicas de análise de eficiência;
- Testar a aplicabilidade dos instrumentos desenvolvidos e dos respectivos métodos de análise em várias situações reais (estudos de caso);
- Desenvolver um plano de aplicação de resultados.

O LNEC participou activamente em diversas reuniões de trabalho, constituindo um passo importante na promoção de uma futura linha de investigação nacional nesta matéria, em estreita articulação com as melhores práticas europeias.

A actividade da rede temática ROSEBUD mostrou que a análise de eficiência, designadamente a ACB alargada à quantificação económica dos impactes ambientais, é um instrumento de apoio fundamental aos decisores, tendo concluído em forma de recomendação, pela harmonização na Europa da utilização de instrumentos de análise de eficiência na avaliação estratégica de políticas de transportes, designadamente em matéria de política de segurança rodoviária.

2.2 Metodologias para a avaliação económica de investimentos em segurança rodoviária

As metodologias para a avaliação económica de investimentos em segurança rodoviária têm como objectivo seleccionar as intervenções correctivas cuja implementação é viável num determinado contexto. Este objectivo pode ser atingido através da aplicação de dois instrumentos de avaliação de impacte na segurança amplamente difundidos: a ACB e a ACE, as quais permitem apoiar a tomada de decisão e escolha da medida ou programa mais eficaz ou com maior retorno em termos monetários.

A ACE considera um determinado objectivo de política a concretizar num horizonte temporal especificado e destina-se a apoiar a decisão em matéria de políticas de segurança, visando encontrar a combinação de medidas capazes de atingir esse objectivo com o menor custo económico. Desta forma, a ACE é concebida para encontrar a solução economicamente mais eficaz para atingir uma dada meta de segurança rodoviária pré-determinada.

A ACB destina-se ao apoio à decisão acerca de políticas a um nível mais estratégico quando existem vários factores a ponderar, avalia os custos e benefícios económicos desse objectivo (e dos objectivos relacionados), em vez de o considerar como um valor absoluto. Assim, com a ACB procura-se avaliar se uma determinada intervenção é economicamente eficiente e, caso o seja, qual o seu nível de eficiência (e ainda se alterações à intervenção podem torná-la mais eficiente) [61].

Desta forma, através da ACE podem hierarquizar-se as medidas possíveis para se atingir ao menor custo um dado objectivo pré-estabelecido, enquanto que a ACB inclui, adicionalmente, uma avaliação das medidas que contribuem para uma maior diferença entre os benefícios e os custos, tendo em conta o princípio da eficiência social. Em qualquer dos casos, as metodologias para a avaliação de investimentos em segurança rodoviária permitem a hierarquização dos problemas de segurança rodoviária e a melhoria dos seus mecanismos de financiamento, através da alocação mais eficiente dos recursos públicos. Estas metodologias permitem ainda apoiar a definição e o controlo, através de métodos quantitativos, de metas no âmbito de um programa local ou nacional de segurança rodoviária.

Complementarmente, a aplicação de análises custo-benefício e custo-eficácia, permite avaliar de forma uniforme os resultados da monitorização da implementação de medidas de segurança rodoviária, uma das componentes num processo integrado de avaliação sistemática de investimentos em matéria de segurança rodoviária (implementação de planos, políticas ou programas), conforme se descreve na Figura 1.

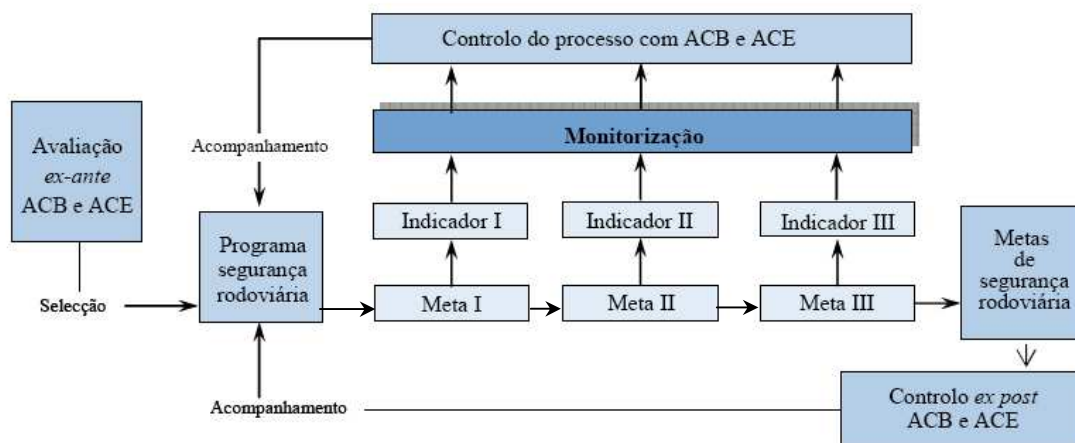


Figura 1 – Avaliação sistemática dos investimentos em matéria de segurança rodoviária [4].

Em conformidade, a avaliação sistemática de investimentos em matéria de segurança rodoviária pode ser entendida como um processo a três etapas:

1. Monitorização e controlo da aplicação das medidas (Indicador de nível I): os resultados alcançados na realidade são comparados com as metas propostas. Esta actividade permite detectar também problemas institucionais e outras barreiras que estiveram na base da não concretização de objectivos traçados;
2. Monitorização e controlo dos efeitos das medidas (Indicador de nível II): os efeitos reais das medidas são comparados com os efeitos esperados (ou projectados). Este passo permite identificar medidas com resultados desviantes ou com impactes não desejáveis;
3. Avaliação económica dos impactes (Indicador de nível III): a ACB antes da aplicação das medidas (*ex ante*) é comparada com a ACB após a sua aplicação (*ex post*).

Se não forem conduzidas as etapas 2 e 3 não será possível às administrações rodoviárias proceder a uma distribuição de recursos de forma eficiente [4].

2.2.1 Rácio eficácia-custo e benefício-custo

As análises custo-benefício e custo-eficácia são técnicas correntemente utilizadas para a avaliação de investimentos em segurança rodoviária nos países do Norte da Europa.

O rácio eficácia-custo de um tipo de intervenção em segurança rodoviária é definido como o impacto esperado da intervenção traduzido pelo número de acidentes que se esperam evitar pela medida por unidade de custo de implementação da mesma [9].

$$\text{Eficácia - custo} = \frac{\text{Número de acidentes evitados pela medida}}{\text{Custos unitários de implementação da medida}} \quad (2-1)$$

Para o cálculo deste rácio é necessária informação respeitante aos seguintes aspectos [61]:

- definição de unidades de implementação⁴ adequadas para a medida;

⁴ A definição de uma unidade de implementação adequada para uma determinada medida consiste no primeiro passo para a determinação do denominador da *equação (2-1)*. A unidade mais adequada depende necessariamente do tipo de medida a implementar. Por exemplo, no que diz respeito ao domínio da educação e formação, o número de alunos treinados de acordo com um determinado plano de formação pode ser uma unidade de implementação adequada. O custo unitário será o custo da formação de um aluno. Já no caso da

- estimativa da eficácia da medida de segurança em termos de número esperado de acidentes evitados por unidade de implementação da medida;
- estimativa dos custos de aplicação de uma unidade de intervenção.

Os acidentes que são influenciados por uma intervenção em segurança podem definir-se como o grupo de acidentes-alvo. Para estimar o número de acidentes que é expectável evitar, por unidade de implementação de uma medida de segurança, é necessário:

- identificar esses acidentes-alvo e os acidentes não alvo;
- estimar o número de acidentes-alvo e não alvo que deverá ocorrer por ano para uma unidade de implementação;
- estimar o efeito da medida nos acidentes-alvo e nos restantes acidentes.

O numerador do rácio eficácia-custo poderá ser estimado de acordo com a equação seguinte:

$$\begin{aligned} \text{Número de acidentes evitados (ou que se espera vir a evitar)} &= \\ &= \text{Número esperado de acidentes por ano} \times \text{efeito da medida} \end{aligned} \quad (2-2)$$

Na ACE os benefícios são expressos em termos das medidas físicas que descrevem o impacto esperado de cada medida (por exemplo, redução esperada do número de acidentes) em vez de o serem em termos monetários, tal como acontece na ACB. Desta forma, a ACE poderá ser utilizada nas seguintes situações [64]:

- quando o esforço necessário para desenvolver uma ACB não é justificável pelos benefícios expectáveis pela implementação de uma medida;
- se a monetarização dos benefícios ou custos externos não é possível ou é extremamente difícil;
- se apenas um objectivo for atingido pela implementação de uma medida (por exemplo, redução do número de vítimas) e não é necessário avaliar outros benefícios.

fiscalização policial, uma unidade de implementação poderá ser o número de homens-hora por quilómetro de estrada por ano. No que diz respeito às medidas relativas à infra-estrutura, a unidade de implementação habitual é uma intersecção ou um quilómetro de estrada, enquanto que em medidas de âmbito mais alargado, a unidade poderá ser uma determinada categoria de estrada [61].

Na ACB, o rácio benefício-custo de uma medida de segurança rodoviária é definido como a divisão do valor actualizado dos benefícios decorrentes dessa medida pelo valor actualizado dos custos de implementação da mesma [9].

$$\text{Benefício} - \text{custo} = \frac{\text{Valor actualizado de todos os benefícios}}{\text{Valor actualizado dos custos de implementação}} \quad (2-3)$$

Assim, numa ACB, os efeitos (traduzidos em custos e benefícios) são comparados entre si através de uma métrica comum, ou seja em termos monetários. É igualmente de destacar que uma ACB requer o cálculo dos componentes de custo-eficácia, bem como o cálculo de outros elementos adicionais. Os termos monetários incluem não só os custos dos acidentes, mas também um conjunto de variáveis complementares, dependendo do tipo e gama de efeitos adicionais considerados (tais como, tempo de viagem, custos operacionais dos veículos, poluentes ou ruído).

Tendo como finalidade a comparação entre custos e benefícios que podem ocorrer em tempos distintos, é necessário converter os valores para uma mesma referência⁵. Para tal é necessário definir a duração do efeito (tempo de vida útil do investimento) e a taxa de juro, indicadores correntes na realização de avaliações económicas. De acordo com a Comissão Europeia o horizonte temporal de referência para projectos rodoviários é, actualmente, de 25 anos [22].

Para o caso mais simples, assumindo que os benefícios esperados resultam unicamente dos acidentes que podem ser evitados (e, portanto, não é esperada, hipoteticamente, qualquer influência sobre a mobilidade ou sobre o ambiente), o numerador do rácio benefício-custo será calculado de acordo com a equação seguinte:

⁵ O período de referência corresponde ao número de anos para o qual são apresentadas previsões na ACB. As previsões relativas à futura evolução dos projectos devem ser formuladas para um período adequado à respectiva vida económica útil, e suficientemente longo para abranger os seus impactos prováveis a médio prazo. O período de vida varia de acordo com a natureza do investimento [12]. Quando a vida economicamente útil real do projecto excede o período de referência considerado, deve igualmente ser tido em conta o valor residual no fim deste período.

$$\begin{aligned} \text{Valor actual dos benefícios} &= \text{Número de acidentes evitados} \times \\ &\times \text{Custo médio do acidente} \times \text{factor de desconto acumulado} \end{aligned} \quad (2-4)$$

O factor de desconto acumulado depende da taxa de juro e do período da análise para efeitos do cálculo do VAL.

2.3 Análise Custo-Benefício de Elementos da AAFR

Do ponto de vista da segurança rodoviária, uma AAFR com as características ideais, inclui taludes desempenados e livres de obstáculos perigosos desde o limite da faixa de rodagem até ao limite da zona de estrada, e com uma área suficiente para todas as exigências da aplicação do conceito de zona livre. Na prática, no entanto, o dimensionamento da AAFR, incluindo a definição quer dos valores de referência quer dos critérios de relaxação desses valores, está sujeito a um compromisso entre as exigências da “segurança absoluta” e as condicionantes de ordem urbanística, ambiental, económicas e de engenharia de cada projecto.

Neste contexto, a ACB é uma ferramenta que permite uma abordagem racional e sistemática da busca da solução mais eficiente, através da comparação de soluções alternativas e da selecção daquelas em que os benefícios esperados mais superam os respectivos custos ([42], [53] e [54]).

De acordo com estudo realizado para países do Norte da Europa, prevê-se que a aplicação continuada de políticas de segurança rodoviária regidas por princípios de análise custo-benefício possam evitar em cerca de 50 a 60% o número de acidentes corporais num horizonte de 10 anos [18].

Em regra, os efeitos esperados incluem, para além dos benefícios pretendidos, como por exemplo, reduções no número de acidentes corporais associados a uma nova infra-estrutura rodoviária, muitos outros efeitos económicos, ambientais e sociais (positivos e negativos). Assim, como princípio fundamental para uma boa decisão, a ACB assenta na ideia de que

um dado projecto deva estar condicionado a que os benefícios incrementais esperados (vantagens) possam exceder os respectivos custos (desvantagens) tendo como referência, no mínimo, dois cenários distintos: um em que se considera a continuação da situação existente e outro em que se equacionam os efeitos das intervenções em estudo. A ACB permite não só comparar as condições pré-existentes (ou de base) com as decorrentes de uma intervenção correctiva, mas também comparar várias intervenções correctivas alternativas entre si ([42] e [53]).

Para além deste princípio fundamental, a aplicação da ACB a um projecto rodoviário ou a qualquer dos seus elementos (como é o caso da AAFR) implica a observância de um conjunto de princípios metodológicos [58]:

- Todos os impactes importantes devem ser considerados uma única vez, ou seja, não deve existir dupla contabilização.
- Os custos e benefícios devem ser equacionados na óptica dos impactes socioeconómicos, ou seja, sobre todos os indivíduos e entidades que sejam significativamente abrangidos pelo projecto em avaliação, independentemente da natureza da respectiva incidência (directa ou indirecta, presente ou futura).
- Os custos e benefícios devem ser actualizados para o “momento actual” (ano de referência da avaliação) de acordo com a respectiva taxa de desconto social⁶. A taxa de desconto social refere-se à taxa da alteração de bem-estar social (ou utilidade do consumo) ao longo do tempo, e pode ser dada pela seguinte expressão [46]:

$$t = \alpha + \beta \cdot g \quad (2-5)$$

em que a é a taxa de preferência pura (reflecte a utilidade no consumo hoje, em vez do consumo no futuro) mais o risco de catástrofe que decorre da probabilidade de

⁶ No “Guide to Cost-Benefit Analysis of investment projects” da UE [22] é sugerida uma taxa de desconto social de 5%. Isto significa que os efeitos de um segundo ano, são multiplicados por $1/(1.05)^2$, de um terceiro ano por $1/(1.05)^3$, etc.. Este método de cálculo dos valores actuais implica também que os efeitos previstos durante o horizonte temporal da análise custo-benefício sejam expressos em preços reais, ou seja, sem correcção pela inflação [61]. Assim, todos os preços são expressos apenas num nível. Em geral, é escolhido como nível de preços o ano mais recente para o qual as percentagens da inflação são conhecidas, sendo os preços “antigos” corrigidos para o nível de preço escolhido por meio de uma correcção da inflação.

ocorrer algum evento catastrófico no horizonte em análise que elimine os resultados/benefícios do investimento em causa; β é a elasticidade da utilidade marginal do consumo e g é a taxa real de crescimento do consumo *per capita*.

- As conclusões da análise não devem ignorar que, frequentemente, outros factores (como, por exemplo, a distribuição dos impactes por diferentes áreas geográficas ou estratos populacionais) podem ser tão, ou mais, relevantes que o elementar somatório dos benefícios líquidos actualizados.

A metodologia de ACB quantifica em unidades monetárias as várias componentes de custo e benefícios. No caso de projectos rodoviários esta análise pode ser estruturada através da desagregação dos agentes que suportam os vários custos:

- Gestores da infra-estrutura:
 - custos de investimento associados à construção da infra-estrutura;
 - custos de operação e manutenção da infra-estrutura;
 - valor residual da infra-estrutura (sempre que o horizonte temporal da avaliação seja inferior ao período de vida útil dos investimentos em análise).
- Utilizadores da infra-estrutura:
 - custos de operação dos veículos ligeiros e pesados, que são directamente suportados pelo viajante e relacionados com a utilização do veículo, tais como, o consumo de combustível e de óleo, e o desgaste dos pneus e de outros “órgãos” e componentes da viatura;
 - custo do tempo de viagem em veículos ligeiros e em veículos pesados, relacionado com a variação do tempo despendido na viagem e com o valor desse tempo;
 - excedente do consumidor da procura captada, que se traduz no aumento do bem-estar da procura captada pela entrada ao serviço da estrada, o que se traduzirá em melhorias do custo generalizado da viagem face aos percursos pré-existent⁷.

⁷ A medição dos custos e benefícios associados aos utilizadores das infra-estruturas pode assentar na aplicação do conceito de “disponibilidade a pagar” para diferentes níveis de serviços de transporte, recorrendo para tal a um suporte teórico acrescido que associa as alterações na utilização da infra-estrutura a benefícios económicos

- Sociedade em geral:
 - custos da sinistralidade – parte dos custos suportados pelo utilizador (através do seguro) e outros custos reflectidos na sociedade em resultado de um acidente (custos externos);
 - custos de poluição atmosférica e de efeito de estufa ou emissões locais – custos suportados pela sociedade como resultado da emissão de poluentes afectando a saúde pública, os edifícios, os ecossistemas e o risco associado às alterações do clima (custos externos);
 - custos do ruído - custos suportados pela sociedade como resultado da emissão de ruído de tráfego, com impactes na saúde pública e no bem-estar social (custos externos).

No caso específico da sinistralidade envolvendo a AAFR, a ACB é um dos métodos mais apropriados para a avaliação de alternativas de intervenção. Os benefícios podem ser avaliados em termos de redução de acidentes ou em termos da variação dos custos sociais decorrentes da diminuição da frequência (ou da gravidade) dos acidentes. Os custos directos para os gestores da infra-estrutura correspondem à construção, à conservação e aos custos de reparação em caso de danos por acidente⁸.

Foram desenvolvidos em diversos países procedimentos para ACB vocacionados para a abordagem de problemas específicos da AAFR, tais como a instalação de sistemas de

para os utilizadores (este é o caso do Reino Unido que utiliza os designados métodos comportamentais na avaliação económica). A diferença entre o que os utilizadores estão dispostos a pagar e o que efectivamente têm que suportar corresponde ao que a teoria económica designa como Excedente do Consumidor [58]. Sempre que uma melhoria na rede atenua os custos suportados pelos utilizadores numa deslocação entre dois pontos, e tendo em conta que a sua disponibilidade a pagar não se altera, o excedente do consumidor aumenta (ou seja, os custos percebidos são agora menores). Os utilizadores que utilizavam a infra-estrutura antiga conseguem agora fazer a viagem suportando um custo inferior. Os novos utilizadores (ou seja, aqueles para quem a disponibilidade a pagar pela viagem deixou de ser inferior ao respectivo custo percebido), também passam a contribuir para o valor agregado do excedente do consumidor, constituindo o que se denomina como *tráfego induzido*.

⁸ Nos casos mais graves a reparação está incluída nos custos de acidente suportados pela seguradora.

retenção de veículos, postes de iluminação, de electricidade e de comunicações ou de suportes frágeis.

Como referido anteriormente, na análise custo-benefício os benefícios estimados como sendo devidos a uma acção específica são comparados com os custos de implementação dessa mesma acção. Se os benefícios de um determinado elemento de projecto excederem os custos de construção e de conservação desse elemento, durante um determinado período de tempo, esse elemento mais seguro pode ser aplicado.

Como forma de determinar se um elemento é, ou não, o mais apropriado, é normalmente utilizada um rácio marginal custo-benefício entre os benefícios adicionais e os custos associados a esse elemento relativamente às condições iniciais, ou a outra solução alternativa. A fórmula desta taxa benefício/custo pode expressar-se da seguinte forma ([42] e [54]):

$$\text{Rácio custo-benefício}_{2,1} = \frac{B_2 - B_1}{C_2 - C_1} \quad (2-6)$$

Onde:

$B/C_{2,1}$ = taxa de incremento B/C da alternativa 2 comparativamente com a alternativa 1

B_1, B_2 = redução dos custos dos acidentes das alternativas 1 e 2

C_1, C_2 = custos directos das alternativas 1 e 2

Quando a taxa B/C é superior a 1, a análise indica que, comparando a alternativa 2 com a alternativa 1, a variação dos benefícios para a segurança da alternativa 2 é superior ao aumento dos custos associados à implementação dessa alternativa.

No entanto, a existência de um rácio marginal custo-benefício superior a um não é suficiente para justificar uma intervenção correctiva na AAFR. Com efeito, todas as medidas encontradas com rácios superiores a um devem ser comparadas, na busca do melhor retorno para os fundos limitados que são postos à disposição da segurança envolvendo a AAFR. As autoridades rodoviárias devem procurar construir aqueles projectos que mais vão ao encontro de múltiplas necessidades, de segurança e de mobilidade, das pessoas.

Especificamente, é necessário estimar os custos das diferentes medidas de engenharia alternativas e comparar estes custos com os resultados previstos, ao nível da segurança, para os utilizadores da estrada.

A previsão dos custos de construção e conservação de um determinado tratamento, utilizando os princípios económicos para converter estes valores em custos anuais, é uma tarefa relativamente simples.

Comparativamente aos custos anteriormente referidos, verifica-se uma dificuldade acrescida no cálculo dos custos dos acidentes [13]. A estimativa do custo esperado dos acidentes com despistes ao longo de uma secção de estrada é uma tarefa difícil, e pode ser expressa como o produto dos seguintes factores [55]:

- A probabilidade de um veículo invadir a AAFR; esta probabilidade depende das características de traçado da estrada, designadamente da plataforma (inclinação, largura da via, presença de berma), da curvatura do traçado em planta, da inclinação dos trainéis e da velocidade dos veículos;
- A probabilidade condicionada de que um veículo que invada a AAFR venha a atingir um obstáculo; esta probabilidade é função do tamanho e localização do obstáculo, da trajectória do veículo bem como das características dos taludes;
- O custo médio da colisão de um veículo com um obstáculo específico; este custo pode ser estimado com base na gravidade “típica” de um impacto com esse tipo de objecto. A gravidade do embate com um objecto particular depende de diversos factores, incluindo o tamanho e a rigidez do objecto, o tipo, velocidade e ângulo de impacto do veículo e dos dispositivos de segurança passiva utilizados pelos ocupantes.

Uma versão simplificada deste processo é ilustrada na Figura 2, adaptada de publicação do *Transportation Research Board (TRB)* [55]. O processo de análise e avaliação de diversas intervenções correctivas alternativas que podem aumentar a segurança da AAFR é iterativo.

Inicialmente utiliza-se um modelo de incursão para estimar a percentagem de veículos que invadirão a AAFR. Alguns tratamentos, particularmente a correcção do traçado em planta,

podem ser utilizados para reduzir este problema. O número anual de incursões numa determinada secção é o produto da taxa de incursões, do tráfego médio diário e do comprimento da secção.

Seguidamente é utilizado um modelo de acidentes para estimar o número de acidentes anuais que previsivelmente ocorrerão devido às incursões na AAFR. A probabilidade condicionada de que um veículo, que invada a AAFR, embata num objecto, pode ser estimada como uma função das dimensões e posicionamento do objecto e da velocidade de projecto da estrada. Como é sugerido na Figura 2 a concepção e aplicação de medidas mitigadoras do problema pode afectar a probabilidade de ocorrência de acidentes. Para um dado local, o resultado combinado dos dois primeiros passos descritos deve conduzir a um valor aproximadamente igual ao número anual de acidentes nesse mesmo local. Se o previsto e o observado não coincidirem, a discrepância pode ser corrigida melhorando a qualidade e a quantidade dos dados recolhidos ou aperfeiçoando a validade dos modelos de incursão e de acidentes.

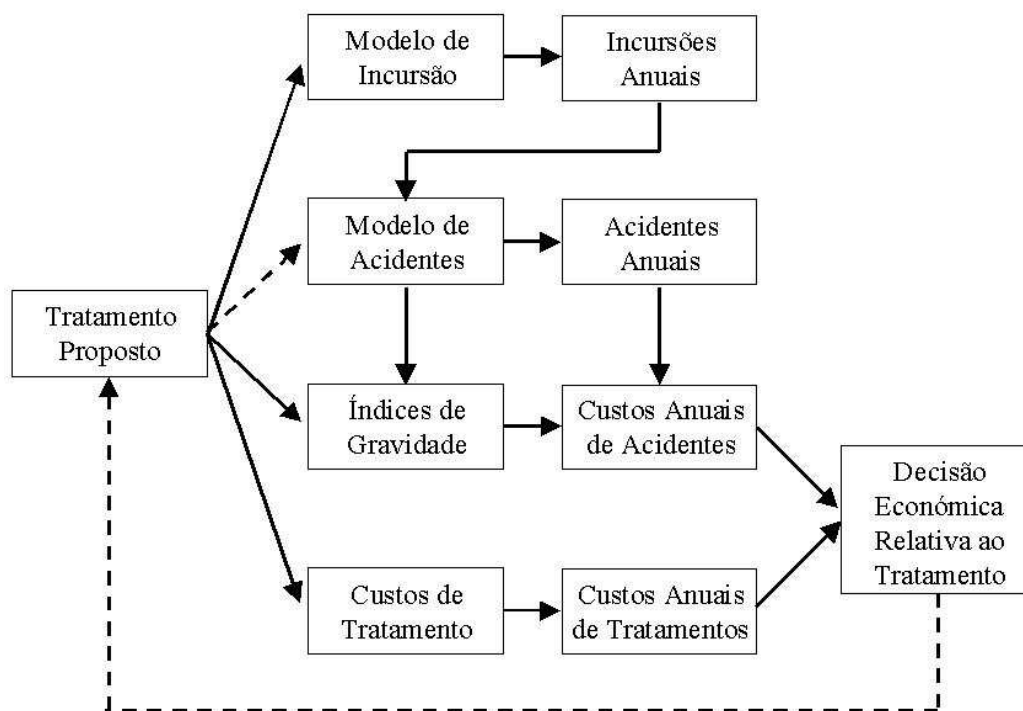


Figura 2 – Processo de análise da segurança da AAFR (adaptado de [55]).

O processo de análise prossegue com a aplicação do modelo de custos dos acidentes, o qual utiliza informação acerca da gravidade esperada das colisões para os vários tratamentos propostos. A gravidade das colisões e o seu custo dependem de diversos parâmetros relativos ao veículo, aos seus ocupantes e à estrada. Sem o conhecimento destes parâmetros não é possível prever com rigor a gravidade das colisões individualmente. No entanto, admitindo algumas suposições, é possível estimar a gravidade média das colisões com obstáculos fora da faixa de rodagem.

A aplicação do modelo de acidentes resulta na determinação de um valor para o índice de gravidade, o qual traduz a gravidade média para um conjunto particular de condições e fornece um indicador da probabilidade relativa de uma colisão resultar num acidente com vítimas mortais, com feridos (graves e leves) ou com danos materiais.

Nos EUA considera-se que os índices de gravidade podem ter valores numa escala de 0 (danos materiais insignificantes) até 10 (garantia de acidente com vítimas mortais). Em publicação do TRB [2] são sugeridos índices de gravidade para diversos obstáculos da AAFR em função da velocidade de projecto. Após a selecção do índice de gravidade mais aproximado às condições em análise, os custos das consequências financeiras de uma colisão típica com um objecto são estimadas com o modelo de custos, recorrendo à definição da escala dos índices de gravidade e aos custos médios das colisões de cada nível de gravidade.

Os resultados da análise da segurança da AAFR dependem, em larga medida, da qualidade da informação recolhida acerca da gravidade das colisões, visto que uma pequena alteração no índice de gravidade pode alterar significativamente o custo médio do acidente.

Por último faz-se a comparação entre os benefícios esperados, ao nível da segurança, e os custos de implementação, através da equação (2-6), para determinar se um determinado tratamento proposto é, ou não, vantajoso. Com base nos resultados desta análise económica, o decisor pode aceitar o tratamento proposto, testar outras alternativas ou concluir que não existe nenhum tratamento que seja economicamente viável para o local. Se o rácio custo-benefício marginal for inferior a 1, a alternativa em análise não é adequada.

Quando o referido rácio é igual a 1, os benefícios esperados ao nível da segurança, são semelhantes aos seus custos.

As autoridades rodoviárias devem decidir qual o valor do rácio custo-benefício marginal a partir do qual será viável a investir numa determinada acção.

De acordo com Montella ([53] e [54]), este valor crítico pode variar entre 1.5 e 4.0. Se a taxa B/C for superior a este valor, a alternativa com maiores benefícios é a melhor escolha. Todavia, o estudo de Montella ([53] e [54]) tem já mais de uma década, pelo que o valor crítico nele definido pode não se aplicar ao contexto actual.

Mais recentemente, no âmbito do projecto europeu ROSEBUD [64], foi hierarquizado um conjunto de medidas em função do seu rácio benefício-custo. As medidas foram classificadas quantitativamente de acordo com o descrito no Quadro 1.

Quadro 1 – Classificação de medidas de segurança rodoviária com base no rácio B/C
(adaptado de [64]).

Classificação	Rácio B/C
Fraco	<1
Aceitável	1-3
Excelente	>3

É de referir, a título de exemplo, o caso da estrada RN 134 que cruza a floresta de “Landes”, no sudoeste de França, ao longo da qual existe um alinhamento de árvores com uma extensão de 64.5 km e em que 38.5% dos acidentes ocorridos entre 1993 e 1997 envolveram colisões com árvores [63]. O objectivo da intervenção foi o de reduzir o número e a gravidade dos acidentes ao longo do trecho com o nível de risco mais elevado (um trecho de 26,5 km). A intervenção consistiu na colocação de 7800 m de barreiras de segurança e 18 áreas de paragem de emergência, bem como a manutenção de 13 acessos à estrada. A maior dificuldade desta intervenção consistiu na concepção de medidas para redução do número e da gravidade dos acidentes, garantindo, sempre que possível, a protecção do tráfego relativamente ao alinhamento de árvores (através da colocação de barreiras de segurança). No caso de árvores isoladas, tal solução não foi possível, optando-se pelo abate das mesmas

e a sua replantação em locais mais adequados. O custo total de execução da medida de redução das colisões contra árvores rondou 1 milhão de euros, incluindo gestão, estudos, execução e acompanhamento no local. Os custos foram inteiramente suportados pelo Ministério do Equipamento e Transportes sob a gestão financeira da administração regional. Em termos globais, a intervenção foi bem aceite ao nível local e a sua avaliação demonstrou uma elevada eficácia em termos de redução dos acidentes e da sua gravidade, e também uma elevada eficiência (rácio benefício-custo de 8.69), considerado excelente de acordo com os critérios do Quadro 1.

3 GRAVIDADE ESPERADA DO EMBATE

3.1 Definições

A gravidade dos ferimentos produzidos num acidente depende, fundamentalmente, dos limites de tolerância do ser humano relativamente a forças e desacelerações, e da eficácia dos dispositivos de absorção de energia cinética disponibilizados aos utentes rodoviários em caso de colisão.

Podem indicar-se como factores de risco, entre outros, a velocidade, a presença de álcool ou outras drogas no sangue dos condutores, a ausência ou inoperacionalidade de dispositivos de segurança passiva nos veículos e a presença de obstáculos perigosos na AAFR [8].

De acordo com a Autoridade Nacional de Segurança Rodoviária (ANSR) [5], o nível de gravidade de um acidente pode ser classificado da seguinte forma:

- Acidentes com vítimas: Acidente do qual resulte pelo menos uma vítima.
- Acidente mortal: Acidente do qual resulte pelo menos um morto.
- Acidentes com feridos graves: Acidente do qual resulte pelo menos um ferido grave, não tendo ocorrido qualquer morte.
- Acidentes com feridos leves: Acidente do qual resulte pelo menos um ferido leve e em que não se tenham registado mortos nem feridos graves.

Destacam-se ainda os acidentes exclusivamente com danos materiais e os acidentes cuja gravidade não é especificada, os quais, na maioria dos casos, incluem uma mistura de acidentes mortais, com vítimas e exclusivamente com danos materiais, em proporções não especificadas.

Sendo a vítima um ser humano que em consequência de acidente sofra danos corporais, importa igualmente distinguir os níveis de gravidade das lesões nas vítimas de acidentes rodoviários:

- Morto ou vítima mortal: Vítima de acidente cujo óbito ocorra no local do evento ou no seu percurso até à unidade de saúde⁹.
- Ferido grave: Vítima de acidente cujos danos corporais obriguem a um período de hospitalização superior a 24 horas.
- Ferido leve: Vítima de acidente que não seja considerada ferido grave.

A fim de permitir a comparabilidade dos dados de sinistralidade, foi estabelecido a nível internacional que os países deveriam contabilizar como mortos em acidentes de viação todas as vítimas que viessem a falecer no período compreendido entre o momento do acidente e os 30 dias imediatos.

Assim, no âmbito da Estratégia Nacional de Segurança Rodoviária para 2008/2015 foi desenvolvida uma nova metodologia para o conhecimento do número de “Mortos a 30 Dias” (Despacho n.º 27808/2009, de 31 de Dezembro). A fim de conciliar as exigências internacionais com as nacionais, que, de acordo com a ANSR, requerem que se dê continuidade à realização de comparações com anos anteriores, a ANSR mantém dois métodos de registo das vítimas mortais. Desta forma, e desde Novembro de 2010 são publicados pela ANSR dados referentes a mortos a 30 dias, passando a haver duas classificações para o mesmo nível de gravidade das lesões nas vítimas de acidentes rodoviários [6]:

- Morto/Vítima mortal a 24 horas: Vítima cujo óbito ocorra no local do acidente ou durante o percurso até à unidade de saúde.
- Morto/Vítima mortal a 30 dias: Vítima cujo óbito ocorra no local do acidente ou durante o período de 30 dias após a sua ocorrência

São igualmente de considerar todos aqueles que não sofrem danos corporais em consequência de um acidente.

⁹ Para obter o número de mortos a 30 dias, aplica-se a este valor o coeficiente oficial de 1,14 [5]. Esta majoração de 14% foi estabelecida de acordo com as conclusões do grupo de trabalho, constituído, em 1998, por Despacho Conjunto dos Ministros da Administração Interna e da Saúde n.º 642/98, de 7 de Agosto. Este grupo chegou às referidas conclusões com base na análise e estudo de 919 520 episódios de internamento, de entre os quais 15 648 resultaram de acidentes de viação em 1998.

Nos actuais estudos de avaliação de intervenções em segurança rodoviária não existe uma definição uniformizada para a gravidade dos danos corporais. As definições acima descritas representam as que se encontram com mais frequência em estudos de avaliação.

3.2 Critérios de Avaliação da Gravidade das Consequências Associadas a Despistes

Os critérios de avaliação da gravidade das consequências são um meio de estimação do potencial de lesão para um ser humano ocupante de um veículo envolvido num acidente rodoviário. Existem dois tipos de critérios para avaliação do risco de lesão dos ocupantes de um veículo em caso de acidente:

- Critérios de avaliação baseados em dispositivos de ensaio antropométricos;
- Critérios de avaliação baseados no veículo.

Um dispositivo de ensaio antropométrico, ou *crash test dummy*, refere-se a um substituto instrumentado de um ser humano concebido para avaliar o potencial de lesão de forma repetível [27]. Normalmente, o potencial de lesão é avaliado por região do corpo com base na medição de acelerações e deslocamentos do dispositivo antropométrico durante o período em que ocorre um acidente. Estes dispositivos são usados principalmente em ensaios de choque de veículos de série em larga escala, como ilustrado na Figura 3.



Figura 3 – Ensaio de choque com dispositivo de ensaio antropométrico [37].

Os critérios de avaliação baseados no veículo, por outro lado, referem-se a indicadores que descrevam o potencial de lesão dos ocupantes com base unicamente na resposta do veículo durante o período em que ocorre um embate. Embora geralmente menos complexos que os critérios de avaliação baseados em dispositivos de ensaio antropométricos, estes critérios são normalmente mais adequados para utilização em acidentes reais. Estes critérios são utilizados principalmente para avaliação do risco através de ensaios de choque com equipamento de segurança, nomeadamente barreiras de segurança e amortecedores de choque.

3.2.1 Critérios de avaliação baseados em dispositivos de ensaio antropométricos

No que diz respeito aos indicadores directamente associados à gravidade das lesões dos ocupantes, destacam-se três classificações: a *Escala Abreviada de Lesão* (Abbreviated Injury Scale - AIS)¹⁰, a *Escala Abreviada de Lesão Máxima* (Maximum Abbreviated Injury Scale - MAIS) e a *Pontuação da Gravidade da Lesão* (Injury Severity Score - ISS) [19].

¹⁰ O sistema AIS foi criado em 1969 pela “American Association for Automotive Medicine”, tendo sido regularmente revisto desde essa data, sendo a última revisão de 2008 [36].

Para aplicação da AIS, o corpo humano é dividido em seis partes (ver Quadro 2) e a cada uma é atribuído um valor que se refere à lesão mais grave para a parte do corpo em questão.

Quadro 2 – Partes do corpo utilizadas para o cálculo da AIS
(adaptado de [69]).

Parte nº	Parte do corpo
1	Cabeça ou pescoço
2	Face
3	Tórax
4	Abdómen
5	Extremidades
6	Externo

A AIS descreve a gravidade das lesões dos ocupantes do veículo, sendo desagregada em seis níveis de gravidade, de acordo com o Quadro 3.

Quadro 3 – Escala abreviada de lesão (adaptado de [67]).

ASI	Nível	Exemplo de lesões na cabeça e pescoço
1	Fraco	Lesões cerebrais ligeiras com dor de cabeça, vertigens, sem perda de consciência, lesões cervicais ligeiras, “golpe de coelho” (whiplash), abrasão, contusão.
2	Moderado	Concussão cerebral, com ou sem fractura do crânio, com menos de 15 minutos de inconsciência, córnea com pequenas físsuras, descolamento da retina, fractura do rosto ou do nariz sem deslocamento.
3	Grave	Concussão cerebral, com ou sem fractura do crânio, com mais de 15 minutos de inconsciência, sem danos neurológicos graves, fractura do crânio fechada com deslocamento ou marcada, sem perda de consciência ou outras indicações de lesões no crânio, perda da visão, deslocamento ou fracturas ósseas abertas na face com implicações antrais ou orbitais, fractura cervical sem danos na espinal medula.
4	Muito grave	Fractura do crânio fechada com deslocamento ou marcada com lesões neurológicas graves.
5	Crítico	Concussão cerebral, com ou sem fractura do crânio, com mais de 12 horas de inconsciência, com hemorragia cerebral ou indicações neurológicas críticas.
6	Fatal	Morte, danos parciais ou totais do tronco cerebral ou da parte superior da coluna cervical, devido à pressão ou interrupção da mesma, fractura ou luxação da parte superior da coluna cervical com lesões na espinal medula

A escala MAIS baseia-se na AIS. O valor da MAIS de uma vítima é o maior valor da AIS que essa vítima tem em qualquer uma das seis partes do corpo.

A ISS é também baseada na AIS. O corpo humano é dividido em seis partes e a cada uma destas partes é atribuída uma pontuação de AIS. A ISS é calculada como a soma do quadrado dos valores das três partes do corpo com os valores mais altos de AIS.

Refira-se ainda um indicador de referência utilizado na aferição da gravidade das lesões sofridas por um ocupante de um veículo envolvido num acidente rodoviário: o *Critério de Ferimento na Cabeça* (Head Injury Criterion - HIC). O HIC tem sido utilizado desde há vários anos quer em ensaios de choque (na Europa pela Euro NCAP e nos Estados Unidos da América (EUA) pela National Highway Traffic Safety Administration (NHTSA)) quer na investigação dos critérios de segurança para a AAFR nos EUA.

O HIC pode ser calculado pelas equações (3-1) e (3-2) ([67] e [80]):

$$HIC = \max \left[\left[\frac{\int_{t_1}^{t_2} a(t) dt}{t_2 - t_1} \right] (t_2 - t_1) \right]^{2.5} \quad (3-1)$$

e

$$a = \sqrt{a_x^2 + a_y^2 + a_z^2} \quad (3-2)$$

Onde a é a aceleração resultante do centro de gravidade da cabeça (expressa em unidades de aceleração da gravidade, $g=9.81 \text{ ms}^{-2}$), (t) é o tempo histórico resultante da aceleração linear do centro de gravidade da cabeça, e t_1 e t_2 são dois valores de tempo particulares que maximizam a expressão.

A NHTSA tem limitado superiormente a separação entre t_1 e t_2 em 36 milissegundos. Por exemplo, com base nessa separação, o valor máximo de HIC_{36} para um dispositivo de ensaio antropométrico de referência (masculino adulto do percentil 50) é 1000 [67]. Mais recentemente foi criado pela NHTSA o HIC_{15} de 15 milissegundos com um limite correspondente a 700 para o mesmo dispositivo de ensaio antropométrico. O intervalo de tempo de 15 milissegundos representa um impacto com uma superfície dura e rígida. [28].

O HIC_{15} para um dispositivo de ensaio antropométrico de referência pode ser directamente correlacionado com o HIC_{36} através da equação (3-3) [56].

$$HIC_{15} = 0.7HIC_{36} \quad (3-3)$$

O HIC mede a desaceleração que actua sobre a cabeça dos ocupantes de um veículo. Em colisões frontais, os valores de HIC_{36} não inferiores a 200 traduzem-se em risco de lesão significativa para o ocupante do veículo, associando-se as lesões graves ou o óbito a um HIC_{36} de 1000. No caso de impactos laterais, os valores de HIC para níveis de lesão semelhantes são significativamente inferiores, ainda que não se encontrem quantificados [67].

3.2.2 Critérios de avaliação baseados no veículo

A gravidade do embate pode ser definida como o grau de lesão para os ocupantes do veículo. Na avaliação de desempenho dos sistemas de retenção de veículos, de acordo com a Norma Europeia EN 1317 ([23] e [24]), são utilizadas três variáveis na avaliação deste risco, baseadas essencialmente nas acelerações medidas no centro de gravidade do veículo. Para além destas variáveis é fornecido um outro valor – *índice de deformação da cabina do veículo* (Vehicle Cockpit Deformation Index - VCDI) – que serve como informação ao utilizador final, para que este possa conhecer melhor o desempenho do habitáculo.

A gravidade do embate é, neste caso, calculada pelos seguintes indicadores: *Índice de gravidade da aceleração* (Acceleration Severity Index - ASI), *Velocidade de impacto da cabeça teórica* (Theoretical Head Impact Velocity - THIV) e *Desaceleração pós-impacto da cabeça* (Post-impact Head Deceleration - PHD).

O ASI representa a relação entre a velocidade de uma viatura no momento do impacto e a gravidade de uma possível colisão de um ocupante do veículo, sentado na proximidade de um determinado ponto, com um objecto que aí estivesse. O ASI é também função do tempo

de duração do embate, sendo calculado em função dos valores limites de aceleração aceitáveis para o ser humano durante um intervalo de tempo de 50 milissegundos, de acordo com a equação (3-4):

$$ASI(t) = \left[\left(\frac{\bar{a}_x}{\hat{a}_x} \right)^2 + \left(\frac{\bar{a}_y}{\hat{a}_y} \right)^2 + \left(\frac{\bar{a}_z}{\hat{a}_z} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (3-4)$$

Onde a_x , a_y e a_z são as componentes de aceleração média do veículo durante um intervalo de tempo de 50 milissegundos e \hat{a}_x , \hat{a}_y e \hat{a}_z são os valores limites de aceleração segundo cada eixo cartesiano do espaço tridimensional. Os valores limites de aceleração são de 12 g¹¹, 9 g, e 10 g para as componentes longitudinal (x), transversal (y) e vertical (z), respectivamente.

Uma vez que no ASI se utilizam apenas as acelerações do veículo, pressupõe-se que o ocupante está continuamente em contacto solidário com o veículo (o que normalmente acontece através do uso de cinto de segurança). O valor máximo de ASI ao longo do período de aceleração do veículo fornece uma dimensão da gravidade da colisão, que se presume ser proporcional ao risco para o ocupante do veículo. O valor de ASI para uma determinada aceleração do impulso de embate é comparado com os valores limite previamente estabelecidos, com o objectivo de fornecer uma avaliação do potencial de dano para o ocupante do veículo.

É de destacar que na última revisão da Norma Europeia EN 1317 ([23] e [24]) são previstos três níveis de gravidade do embate em função do ASI (adicionando o nível de gravidade C aos já existentes A e B), não sendo feita qualquer referência à gravidade esperada das lesões associadas a cada um destes valores, nem aos fundamentos teóricos que nortearam o estabelecimento de valores-limite dos índices para cada nível de gravidade (ver Quadro 4).

¹¹g = 9,81 ms⁻²

Quadro 4 – Níveis de gravidade do embate de acordo com a EN 1317 (adaptado de [24]).

Nível de gravidade do embate	Valores dos índices	
A	ASI ≤ 1,0	THIV ≤ 33km/h
B	ASI ≤ 1,4	
C	ASI ≤ 1,9	
O nível A confere um nível de segurança para os ocupantes maior do que o nível B, e o nível B maior nível de segurança que o nível C. Sob igualdade de outras condições, deve ser preferido o maior nível de segurança.		

O indicador THIV permite avaliar a gravidade das lesões num ocupante, resultantes do impacto da viatura: considera-se a cabeça do ocupante como um objecto com possibilidade de movimento livre que, à medida que a velocidade da viatura diminui durante o impacto com um obstáculo, continua a mover-se até embater no interior do habitáculo, com uma determinada velocidade que corresponde àquele critério. O objectivo do THIV é o de indicar o risco de lesão para um ocupante sem cinto de segurança dentro do veículo, procurando desta forma recriar os movimentos da sua cabeça.

Por último, as condições de cálculo da PHD decorrem da continuação do cenário descrito para o cálculo do THIV: admite-se que após o impacto da cabeça com o interior do habitáculo esta fica em contacto com a superfície embatida e que, por isso, a partir desse momento, é sujeita às mesmas desacelerações que o habitáculo. Assim, na altura em que o THIV é calculado, as desacelerações do veículo são monitorizadas, sendo registados os valores máximos da aceleração lateral e longitudinal do veículo. O objectivo da PHD é medir a intensidade da força sobre o ocupante na fase do choque em que este já está em contacto com a cabina e outra vez solidário com o veículo.

Para garantir a adequada protecção dos ocupantes, o THIV e PHD são comparados com valores-limite previamente estabelecidos. O limite do THIV é de 33 km/h (ver Quadro 4) e o da PHD é de 20 g ([23] e [24]).

É ainda de referir o mais antigo indicador da gravidade de uma colisão, Delta-V, o qual corresponde à variação total da velocidade do veículo (medida no seu centro de gravidade)

durante o período em que ocorre um embate (ver Figura 4). De acordo com Gabauer [27], este é o indicador mais utilizado em bases de dados de acidentes e é geralmente estimado utilizando dados dos danos no veículo na fase pós-acidente em conjunto com programas informáticos de reconstituição de acidentes, tais como o WinSmash, o PC-Crash ou o HVE. Assume-se que as maiores variações da velocidade correspondem a uma maior probabilidade de lesão para os ocupantes do veículo.

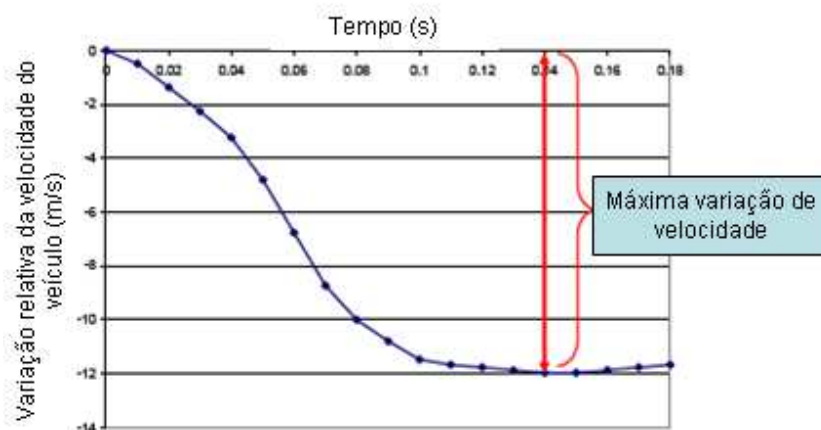


Figura 4 – Cálculo de Delta-V (adaptado de [27]).

3.3 Relação entre Critérios de Avaliação

Tal como referido no subcapítulo anterior, podem realizar-se ensaios de choque em dois elementos do sistema rodoviário, veículo e infra-estrutura, com o objectivo de avaliar o potencial de dano físico para o terceiro elemento do sistema (elemento humano) em caso de acidente.

Nos ensaios de choque realizados aos sistemas de retenção de veículos, o risco de lesão para os ocupantes de um veículo deveria, idealmente, ser avaliado através de um dispositivo de ensaio antropométrico instrumentado. Contudo, várias considerações de ordem prática levaram a que as autoridades responsáveis por esta matéria tenham vindo a evitar essa opção. Os ensaios de choque destes sistemas são complexos e devem conter uma avaliação estrutural do sistema de retenção, para além da do potencial de lesão dos ocupantes, e condições padrão diversificadas. Por exemplo, no caso das barreiras de segurança os ensaios

de choque são realizados a velocidades elevadas e com pequenos ângulos de embate (inferiores a 30°). Para além disso, estes dispositivos são normalmente testados em solo natural, o que pode dificultar seriamente a repetibilidade do ensaio com *dummies*. Um veículo que embata num destes dispositivos irá provavelmente percorrer uma superfície bastante irregular capaz de colocar um *dummy* fora da sua posição. O uso deste tipo de equipamentos onera consideravelmente os ensaios de choque, e o rigor das medições introduz um grau de variabilidade adicional, com obtenção de valores significativamente diferentes para as mesmas condições de ensaio, em função do modelo do veículo usado. Estas dificuldades conduziram ao desenvolvimento de modelos simplificados de lesão, como o *Índice de gravidade da aceleração* (ASI) anteriormente descrito, que apenas medem a cinemática do veículo, prevendo indirectamente o risco para os seus ocupantes.

A realização de ensaios de choque sob condições padronizadas é, de qualquer forma, o método mais comum de avaliação de segurança quer em veículos, quer no equipamento de segurança presente na AAFR. Partindo de critérios de avaliação distintos, procura-se, em qualquer dos casos, avaliar o potencial de lesão para os ocupantes dos veículos.

Porém, pouco se sabe quanto à forma como os vários critérios de avaliação se relacionam entre si, sendo esta uma questão especialmente importante para a concepção de um sistema de avaliação de alternativas de intervenção na AAFR, como aquele cujo desenvolvimento no âmbito do presente trabalho está previsto na tarefa WP8 – Arquitectura do sistema de avaliação das alternativas.

Em alguns casos a relação entre aqueles critérios apresenta evidentes discrepâncias. Por exemplo, os dispositivos de ensaio antropométricos utilizados em ensaios de choque de veículos são concebidos, nomeadamente, para avaliar o desempenho dos sistemas de segurança passiva, tais como cintos de segurança e *airbags*, em termos de lesão para os ocupantes do veículo. Contudo, já nos ensaios de equipamento da estrada, no THIV e na PHD assume-se que o ocupante tem possibilidade de movimento livre, ou seja, não usa cinto de segurança nem dispõe de *airbag*. Isto representa, na prática, aquele que será o pior cenário possível de segurança passiva típico do início dos anos 1980, quando surgiu este tipo de indicadores (como o *Flail Space Model*). Refira-se que, nessa época, as taxas de utilização de

cintos eram bastante reduzidas (nos EUA eram de aproximadamente 11% [27]) e era escassa a taxa de penetração nos mercados dos *airbags*. Contudo, desde a década de 1990 que, na Europa e na América do Norte, os *airbags* são equipamento de série em qualquer veículo novo e a utilização do cinto de segurança encontra-se generalizada, pelo que se justifica a adopção de outro tipo de indicadores, representando mais fielmente o grau de segurança passiva disponibilizado presentemente.

3.3.1 Relação entre ASI e HIC

O ASI é utilizado de forma generalizada em toda a Europa para avaliar o potencial de lesão dos ocupantes nos ensaios de choque à escala real envolvendo sistemas de retenção de veículos. Apesar disso, são diminutas as referências à investigação feita, visando relacionar este indicador com as lesões dos ocupantes em choques reais.

Um dos estudos mais relevantes nesta matéria foi desenvolvido por Shojaati [67] e analisa a correlação entre o ASI e o risco de lesão dos ocupantes de um veículo através do HIC.

Refira-se que o ASI é determinado com base nas acelerações e desacelerações no centro de gravidade do veículo. Por outro lado, o HIC descreve a gravidade da lesão, com base nas acelerações actuantes sobre o ocupante de um veículo, partindo do princípio que existe impacto da sua cabeça contra o interior do respectivo habitáculo. É de destacar que, na realidade, este ocupante não está rigidamente ligado à estrutura do veículo. Factores como a rigidez e dimensão do veículo, a plasticidade dos assentos ou a folga no cinto de segurança são responsáveis por diferenças de acelerações e desacelerações entre o centro de gravidade do veículo e os seus ocupantes.

No âmbito do referido estudo [67] foram realizados nove ensaios de choque laterais com um *dummy* Hybrid III (ver Figura 5), optando-se por medir o ASI e a partir deste indicador determinar o HIC.



Figura 5 – *Dummy Hybrid III* masculino adulto do percentil 50 [66].

Os resultados obtidos sugerem uma relação exponencial entre o HIC e o ASI. Para valores de ASI inferiores a 1.0, o valor do HIC é inferior a 100. Para valores de ASI entre 1.5 e 2.0 os valores estimados para HIC situaram-se entre 350 e 1000 (ver Figura 6). Devido ao número limitado de ensaios realizados, a correlação entre ASI e HIC foi apurada de forma aproximada.

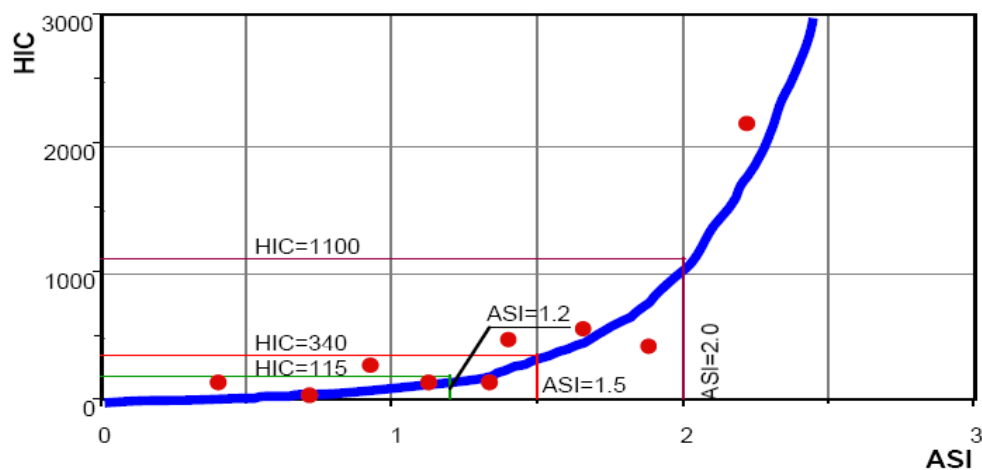


Figura 6 – Relação entre ASI e HIC [67].

3.3.2 Relação entre ASI e AIS

Nos EUA, Gabauer e Gabler [29] analisaram 138 colisões frontais com equipamento de segurança presente na AAFR, tendo classificado os resultados das lesões utilizando a AIS. Para esse efeito foram instalados *gravadores de dados de eventos* (Event Data Recorders - EDR) num conjunto de veículos recentes (com *airbag* e cintos de segurança), permitindo uma abordagem mais rigorosa do que a tradicional na avaliação do risco de lesão para os ocupantes baseado no ASI. Estes gravadores registam electronicamente dados, tais como, a velocidade do veículo, o estado de accionamento dos travões e a posição do acelerador pouco tempo antes e durante o acidente. De particular interesse para o estudo realizado foi a capacidade destes equipamentos para documentar a variação da velocidade de um veículo durante uma colisão.

Para investigar os valores limite em termos de lesões globais, os valores de MAIS foram obtidos em função do ASI longitudinal. A Figura 7 mostra um gráfico referente a uma amostra com 120 observações (colisões do tipo frontal), com os limites recomendados e máximos admissíveis de ASI (1.0 e 1.4, respectivamente) representados como linhas verticais tracejadas. Partindo do princípio que o ASI é proporcional à lesão dos ocupantes, maior número de ferimentos mais graves deverá ocorrer para valores maiores de ASI, sendo de esperar que a maioria dos pontos se orientem ao longo de uma banda diagonal partindo da origem até ao canto superior direito do gráfico.

Observando a Figura 7, verifica-se que a dispersão dos dados dissimula a tendência crescente da referida diagonal. No entanto, os valores medianos para cada valor de AIS demonstram uma tendência linear crescente que sugere que o ASI é, pelo menos, indicativo da lesão nos ocupantes para o caso de colisão frontal. Para os níveis MAIS 0, 1, 2 e 3, os valores medianos para o conjunto de dados analisado são, respectivamente, 0.63, 0.83, 1.13 e 1.44 [29]. A comparação destes valores com os limites de ASI estabelecidos (1.0 e 1.4) aponta para a razoabilidade dos actuais limiares de ASI. Com base nos dados disponíveis, verifica-se que o valor médio de ASI, para o nível de dano MAIS 3 (lesão grave) é aproximadamente igual ao valor máximo de ASI considerado na EN1317-1 em vigor (na mais recente proposta de revisão o limite passou para 1.9 [23]).

A Figura 7 apresenta ainda a frequência acumulada de lesão máxima em função do ASI longitudinal (as frequências acumuladas foram ponderadas para se ajustarem à escala AIS). Cerca de 25% das ocorrências de "ferimentos leves, caso existam" ($MAIS \leq 1$), ocorrem para valores acima do limite recomendado de ASI. Os restantes 75% ficam abaixo desse limite, indicando que o limite é razoável. Porém, cerca de 35% dos "ferimentos graves" ($MAIS > 1$) ocorrem abaixo do valor limite recomendado. Em termos do limiar máximo, cerca de metade das lesões mais graves ($MAIS > 1$) fica acima do limite máximo, enquanto 90 % dos "ferimentos leves, caso existam" ($MAIS \leq 1$) ocorrem abaixo desse limite. São necessários mais casos de gravidade superior para aprofundar o conhecimento acerca do nível da lesão que corresponde a valores de ASI superiores ao limite máximo estabelecido (1.4).

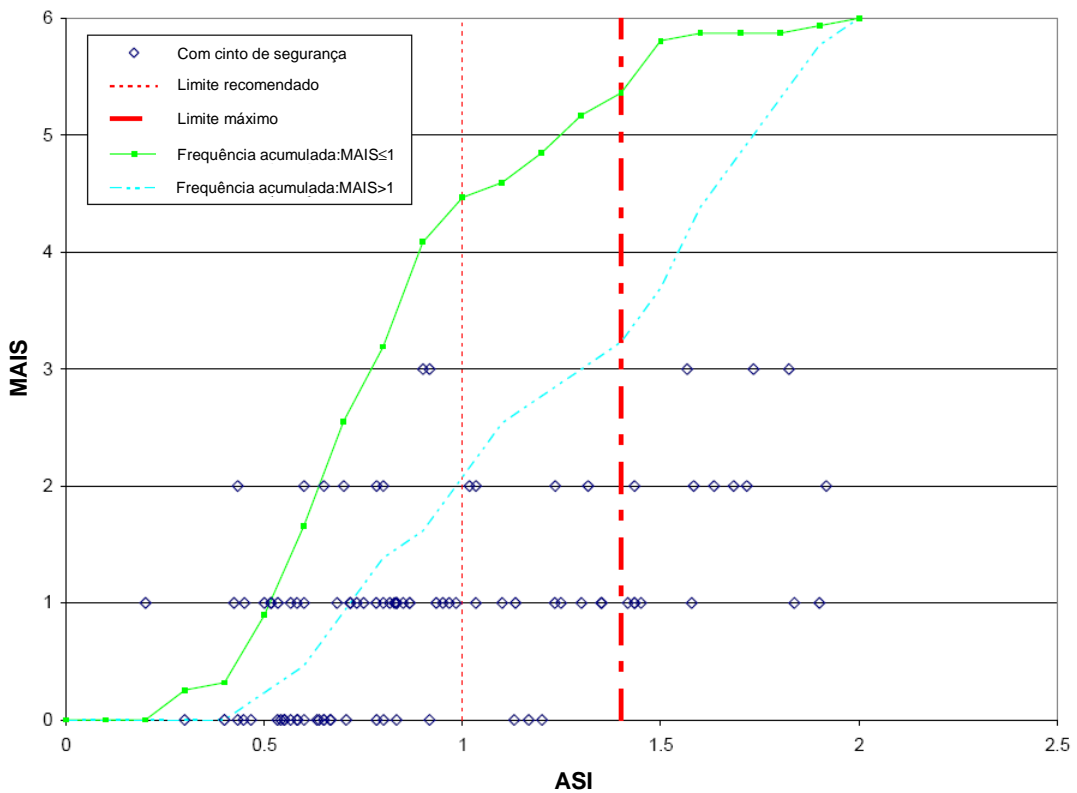


Figura 7 – Relação entre ASI longitudinal e MAIS num embate frontal (adaptado de [29]).

O mesmo estudo aponta para que 80% das lesões torácicas ligeiras ocorram para valores de ASI abaixo do limite máximo actual de 1.4.

Este estudo reveste-se de particular importância uma vez que fornece uma primeira indicação da relação entre o ASI e os ferimentos nos ocupantes de um veículo com *airbag* e cintos de segurança colocados, tendo sido desenvolvida e testada na prática uma metodologia para realização de estudos futuros. Este estudo permitiu ainda chegar às seguintes conclusões:

- O ASI é um bom indicador das lesões para os ocupantes com cinto de segurança de veículos equipados com *airbag* envolvidos em colisões frontais, pelo menos dentro dos limites de ASI pré-estabelecidos;
- Os dados disponíveis confirmam a noção de que o limite preferencial de 1.0 corresponde a "ferimentos leves, caso existam" (ou seja, lesões classificadas como AIS 0 ou AIS 1).
- Dada a ocorrência de um ASI de 1.0, os dados disponíveis apontam para uma probabilidade de 80 % de lesões MAIS 0 ou MAIS 1.

3.3.3 Relação entre HIC e AIS

Shojaati [67] cita um estudo de Prasad e Mertz ¹² que, tendo como base um conjunto de experiências pós-morte (com cadáveres), desenvolveu uma correlação entre HIC e AIS (ver Figura 8). É de referir que a correlação encontrada baseia-se unicamente em ensaios de choque frontais.

¹² P. Prasad and H. Mertz (1982). The position of the United States delegation to the ISO working group 6b on the use of HIC in the automotive environment. SAE Paper 821246.

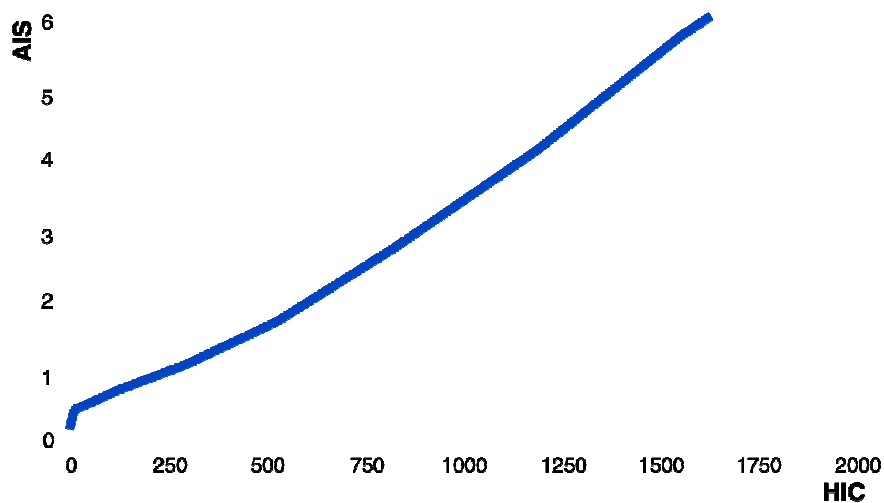


Figura 8 – Relação entre HIC e AIS [67].

3.3.4 Relação entre HIC e MAIS

Mais recentemente, Prasad *et al.*¹³ (citado em [56]) estimaram o risco de lesões na cabeça como função de HIC₁₅. O intervalo de 15 milissegundos representa um impacto contra uma superfície rígida. Posteriormente a NHTSA expandiu a designada “curva Prasad/Mertz” com o objectivo de incluir outros níveis de AIS (ver Figura 9).

¹³ Mertz, H.J.; Prasad, P.; and Irwin, N.L. (1997). Injury risk curves for children and adults in frontal and rear collisions (SAE 973318). Proceedings of the 41st Stapp Car Crash Conference (P-315), 13-30. Warrendale, PA: Society of Automotive Engineers.

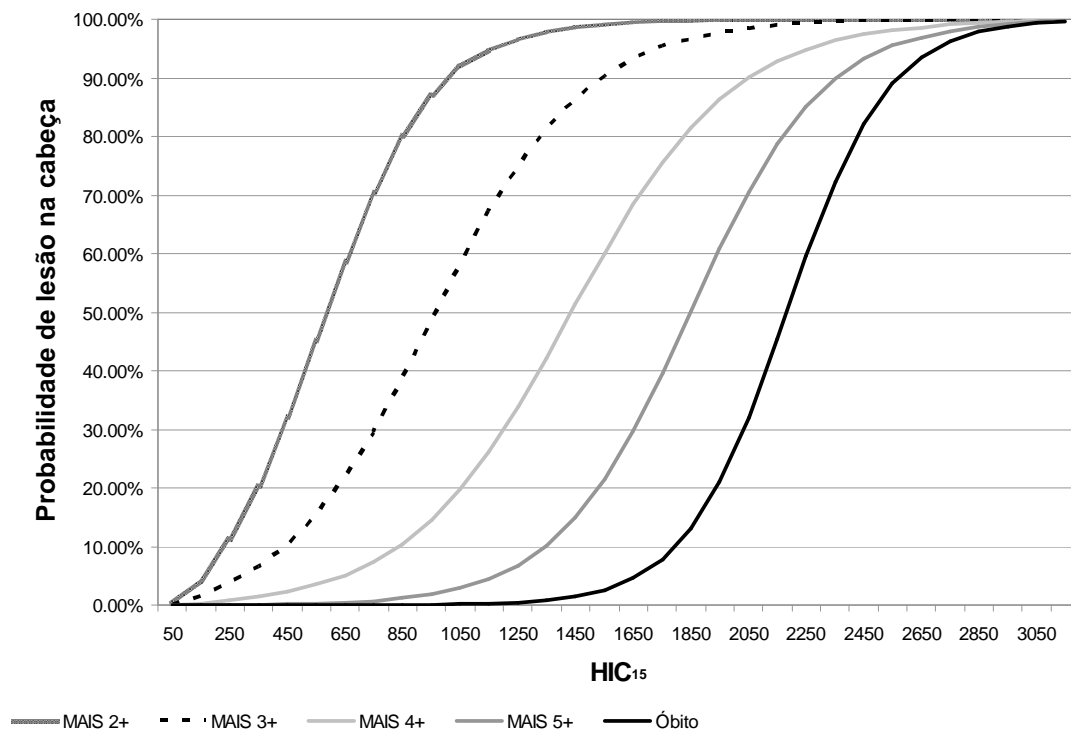


Figura 9 – Probabilidade de lesão na cabeça em função do HIC_{15} para um dispositivo de ensaio antropométrico masculino adulto do percentil 50 (com base em valores de Mertz, H.J.; Prasad, P.; and Irwin, N.L. (1997), citado em [56]).

3.4 Gravidade Esperada dos Acidentes Envolvendo a AAFR

Para estimar os custos médios por acidente, é necessário ter em conta o número médio de vítimas por acidente envolvendo a AAFR e a gravidade dos seus ferimentos.

Tal como acontece em muitos outros países, a avaliação da evolução da sinistralidade em Portugal é feita, geralmente, tendo por base a frequência de acidentes registada pelas entidades fiscalizadoras (GNR, BT-GNR e PSP) para diferentes tipos de acidente. No entanto, algumas intervenções correctivas podem reduzir um determinado tipo de acidente, aumentando outro. É sabido que diferentes tipos de acidente são caracterizados por diferentes níveis de gravidade média, pelo que a simples comparação de frequências de

acidente não permite obter informação adequada acerca da eficácia das intervenções, já que, como referido em 2.1, estas visam diminuir o número de acidentes e a gravidade das vítimas.

É pois necessário desenvolver estimativas de custos por tipo de acidente. Neste caso é necessário apurar qual a gravidade média das consequências associadas aos acidentes envolvendo a AAFR (número médio de mortos, feridos graves e feridos leves).

A componente sistemática do fenómeno da sinistralidade tem vindo a ser representada por um modelo multiplicativo com três dimensões, segundo o qual as consequências dos acidentes resultam do produto de três factores: exposição ao risco de acidente; risco de acidente; e gravidade do acidente [8]. O factor de risco corresponde a uma probabilidade condicionada de que o acidente ocorra efectivamente dada a verificação de oportunidade para a sua ocorrência (estando relacionado com a probabilidade de erro por parte dos utentes). O factor de gravidade corresponde à probabilidade condicionada de que a gravidade atingirá um determinado valor, dada a ocorrência do acidente (estando directamente relacionado com a quantidade transformada de energia cinética e com a respectiva taxa de transformação no momento de impacto). Estas relações podem ser representadas de forma simplificada segundo a seguinte equação [8]:

$$Vítimas = Exposição \times \frac{Acidentes}{Exposição} \times \frac{Vítimas}{Acidentes} \quad (3-5)$$

Tem vindo a verificar-se uma crescente integração da componente de saúde pública no estudo do fenómeno da sinistralidade o que conduziu à consideração de uma nova dimensão na modelação genérica das consequências da sinistralidade rodoviária, que corresponde à consideração das consequências irrecuperáveis do dano e dos ferimentos. Assim, a sinistralidade é, mais correctamente, representada pelo produto [8]:

$$Consequências = Exposição \times \frac{Acidentes}{Exposição} \times \frac{Vítimas}{Acidentes} \times \frac{Consequências}{Vítimas} \quad (3-6)$$

No presente trabalho, a análise da gravidade das consequências foi feita com base nos resultados da tarefa WP2 - Análise de dados de sinistralidade e modelação de despistes, recorrendo à base de dados de acidentes rodoviários, existente no Núcleo de Planeamento, Tráfego e Segurança do Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC). Esta base de dados contém a informação recolhida, através do preenchimento do “Boletim Estatístico de Acidentes de Viação” (BEAV) da Autoridade Nacional de Segurança Rodoviária (ANSR), pela Polícia de Segurança Pública (PSP) e pela Guarda Nacional Republicana (GNR).

Foi necessário recorrer a dados com um recuo histórico considerável (4 anos), tendo em vista a obtenção de uma amostra (conjunto de ocorrências) coerente para os fins da análise estatística.

Quando a presente tarefa foi realizada continuavam a datar de 2007 os elementos mais recentes sobre sinistralidade (na base de dados do LNEC) e os relativos à infra-estrutura disponíveis informaticamente, razão pela qual se limitou superiormente a análise a 2007.

Assim, na modelação da sinistralidade na Rede Rodoviária Nacional (RRN), adoptou-se um período de quatro anos (2004 a 2007), tendo sido considerado, para esse efeito, o subconjunto de estradas da RRN, incluídas no Plano Rodoviário Nacional (PRN) de 2000.

Foram definidas três taxas relativas à gravidade dos acidentes ocorridos:

- a taxa de mortalidade (TM), relativa ao número de mortos por 10^6 veículos×km;
- a taxa de sinistralidade grave (TSG), relativa ao número de feridos graves por 10^6 veículos×km;
- a taxa de sinistralidade leve (TSL), relativa ao número de feridos leves por 10^6 veículos×km.

No Quadro 5 são apresentados, para o período 2004-2007, os valores médios das referidas taxas de sinistralidade, para todos os trechos da RRN em que existem dados relativos aos volumes de tráfego no período analisado (1 142 e 753 trechos analisados, em estradas de faixa de rodagem única e dupla, respectivamente).

Quadro 5 – Número médio de mortos, feridos graves e feridos leves por 10⁶ veículos×km

	TM	TSG	TSL
Faixa de rodagem única	0.007	0.021	0.204
Dupla faixa de rodagem	0.003	0.011	0.136

4 MONETARIZAÇÃO DAS INTERVENÇÕES E SEUS IMPACTES

4.1 Custos das Intervenções Correctivas

Os “custos de aplicação” devem ser determinados para cada uma das medidas de segurança consideradas, e correspondem aos custos sociais de todos os meios de produção (capital e trabalho) que são utilizadas para a aplicação de cada medida [21]. Estes custos são geralmente estimados de forma individual para cada projecto de investimento.

No âmbito do presente estudo procurou obter-se um levantamento dos custos típicos das medidas de engenharia passíveis de serem implementadas em intervenções de segurança rodoviária no âmbito de uma ACB ou ACE envolvendo a AAFR.

Os custos de aplicação deverão ser convertidos para os valores actuais, o que inclui quer os custos de investimento quer os custos anuais de operação e manutenção. Assim, tal como acontece no caso dos custos dos acidentes por saída da faixa de rodagem, os valores monetários foram convertidos em euros a preços de 2010, de modo a facilitar a comparação dos resultados da avaliação.

É de salientar que nem sempre é possível obter, *a priori*, estimativas de custos rigorosos. No caso, por exemplo, da diminuição da inclinação dos taludes verifica-se uma grande variação em função das condições do terreno. Também os custos das alterações do perfil transversal de uma estrada (nas quais se incluem o alargamento da zona livre) variam grandemente, não só com as condições geomorfológicas do terreno como também com o uso que dele é feito (custos associados às expropriações).

Assim, sempre que possível, deve ser disponibilizada informação sobre o custo das intervenções. A informação utilizada neste estudo foi obtida, em parte, a partir de orçamentos de projectos rodoviários e de documentos de produtores ou vendedores de equipamentos de segurança.

Os valores de custo apresentados no Quadro 6 representam uma estimativa para Portugal do custo médio de uma “unidade” de cada tipo de intervenção, por exemplo, “um metro de barreira de segurança metálica” ou “um amortecedor de choque”. Esta estimativa foi obtida a partir da consulta de valores correntes de obras recentemente realizadas no nosso país.

Os custos de manutenção, baseados em estudo realizado por Elvik *et al.* [19], correspondem aos custos médios de reposição de danos provocados por acidentes e deverão estar incluídos nos custos dos acidentes por serem suportados pelas seguradoras.

Quadro 6 – Preços unitários das intervenções correctivas (€ a preços de 2010)

Tipo de Intervenção (medidas)	Unidade	Custo de investimento (€)	Custo anual de manutenção (€)
Sistemas de retenção de veículos			
Barreiras de segurança metálicas com prumos afastados de 4 m	m	19.5	0.6 - 1.2
Barreiras de segurança metálicas com prumos afastados de 2 m	m	28	0.8 - 1.7
Terminais, tipo cauda de carpa	un.	47	1.4 - 2.8
Terminais circulares de fecho de dois alinhamentos	un.	102	3.1 - 6.1
Guardas Rígidas com perfil simétrico	m	42	1.4 - 2.8
Guardas Rígidas com perfil assimétrico	m	30	1 - 2
Betão tipo C 16/20 em fundação de guardas rígidas	m ³	98	-
Amortecedor de choque	un.	41200	1400 - 2800
Dispositivos de protecção de motociclistas (DPM) em barreiras de segurança metálicas	m	15	0.5 - 0.9
Terminal de DPM	un	40	1.2 - 2.4
Suportes frágeis			
Poste de iluminação tradicional (sem luminária)	un	250	7.5 - 15
Poste de iluminação frágil (sem luminária)	un	800	24 - 48
Remoção de obstáculos na AAFR			
Desmatação, incluindo derrube de árvores	m ²	0.2	-
Demolição de construções (excluindo muros)	m ³	4	-
Demolição de muros	m ³	3.2	-
Levantamento de sinais de "código", baias, balizas e marcos.	un.	8.5	-
Levantamento de sinais do sistema informativo, setas e painéis	un.	28.8	-
Levantamento de barreiras de segurança metálicas	m	5.4	-

4.2 Estimativas para o Custo Sócio-Económico dos Acidentes Rodoviários

No caso do método da disposição a pagar (também designado quando aplicado no contexto da segurança de “value of risk change”), os custos de acidentes compreendem custos sócio-económicos directos, indirectos e um valor da segurança *per se* que corresponde ao valor da variação marginal no risco de acidente mortal ou com danos corporais. Estes custos podem ser agrupados em diversas categorias [19]:

- custos médicos e de reabilitação - custos de hospitalização, primeiros socorros, ambulâncias;
- custos de danos materiais;
- custos administrativos - relativos ao trabalho da polícia, bombeiros, entidades administrativas, sistema judicial, etc.;
- valor da perda de produção devido à morte ou incapacidade prematuras, dias de doença, etc.;
- valor da segurança *per se* (valor do risco de óbito).

Normalmente, os custos considerados subdividem-se nos custos associados a vítimas mortais, a feridos graves, a feridos leves e a danos materiais.

O valor da segurança *per se* pode ser quantificado como o Valor da Vida Estatística¹⁴ (VVE). O VVE diz respeito à avaliação da variação da frequência esperada de acidente fatal, e não ao valor da vida propriamente dita a qual obviamente não tem preço de mercado. Para estimar este valor pode recorrer-se a várias técnicas de preferências reveladas e declaradas. Os actuais custos do seguro automóvel não correspondem ao risco esperado (estatístico) para cada utilizador da rede [46].

O maior problema a resolver na estimação dos custos dos acidentes envolvendo a AAFR, numa determinada secção de estrada, é a determinação realista das consequências, ao nível de custos e de gravidade, dos impactos com os diversos objectos presentes na AAFR [55].

¹⁴ Métrica abstracta para fins estritos da avaliação económica. Representa, para uma amostra de grande dimensão de utentes rodoviários, a disposição a pagar para uma redução do risco de acidente mortal [3].

No caso português, a dificuldade da avaliação dos custos destes acidentes é agravada pelo facto de as avaliações disponíveis serem relativamente antigas. O estudo nacional mais recente existente sobre esta matéria, elaborado pelo LNEC em 2000 [44], é uma actualização dos custos calculados pela Prevenção Rodoviária Portuguesa (PRP) usando dados de sinistralidade de 1987¹⁵, não permitindo desagregações de custos por tipo de acidente.

De acordo com o referido estudo, os custos totais dos acidentes ocorridos em 1995 em Portugal foram de € 3 073 208 567, correspondentes a 48298 acidentes. Os 2088 mortos resultantes desses acidentes custaram, só por perda de produção, € 705 853 892) [45].

No estudo do LNEC, os custos de perda de produção unitários estimados foram de 480 208 € para a vítima mortal, 23 289 € para o ferido grave e 254 € para o ferido leve (valores de 1995 para a Região de Lisboa e Vale do Tejo).

Por outro lado, ao nível da União Europeia o "princípio do milhão de euros" como valor a despender para prevenir um acidente com vítimas mortais continua válido [9]. A estimativa de um milhão de euros é baseada no custo total de 45 biliões de euros para todos os acidentes ocorridos na Europa em 1995 (incluindo acidentes fatais, com feridos e com danos materiais) bem como no número de mortes e nas relações entre número de mortos, feridos graves e de feridos leves verificados nesse ano (45 000) [73].

Este princípio foi introduzido pela Comissão Europeia no programa de segurança rodoviária para 1997-2001, como contributo para a selecção das medidas de segurança rodoviária mais eficazes. Esta iniciativa baseou-se no princípio de que os elevados custos dos acidentes devem ser plenamente tidos em conta nas políticas de segurança dos Estados-Membros. Contudo, este cálculo reflecte apenas os custos económicos directos e o valor da perda de produção gerados pelos acidentes de viação comunicados e pelos danos físicos resultantes. Não inclui uma estimativa dos acidentes não comunicados, o valor da vida humana, ou a “disposição a pagar” para evitar a dor e o sofrimento, nem contempla a diminuição da

¹⁵ Relatório “Custo Socioeconómico dos Acidentes Rodoviários em 1987 – Relatório Síntese” elaborado pela Prevenção Rodoviária Portuguesa.

qualidade de vida decorrente da incapacidade. Assim, embora a regra do milhão de euros subestime os verdadeiros custos dos acidentes de viação, fornece uma avaliação mínima uniforme e aceitável [10]. De acordo com um estudo do Conselho Europeu de Segurança nos Transportes (ETSC) (citado em [73]), se tivessem sido contabilizados os acidentes não registados e valor da segurança *per se*, o custo por acidente fatal seria de 3.6 milhões de euros.

Tendo por base um estudo realizado por Sælensmind [65], foi elaborado um levantamento do valor monetário oficial da segurança rodoviária utilizada em ACB realizadas em 23 países, no âmbito do projecto europeu ROSEBUD [61] (e citado em diversas fontes de referência [9], [25] e [19]). A Figura 10 ilustra a avaliação oficial do benefício para a sociedade de prevenir uma morte em acidente rodoviário em 23 países. Os valores são expressos em Euros a preços de 2002, ajustados à paridade do poder de compra¹⁶ (PPC).

Verifica-se que a valorização de um acidente mortal difere enormemente consoante o país envolvido. Os factores com maior influência na avaliação são o rendimento *per capita* e o método de cálculo utilizado na avaliação monetária dos benefícios para a sociedade decorrentes de evitar mortes em acidentes rodoviários (por exemplo, método da “disposição a pagar”).

¹⁶ A teoria da Paridade do Poder de Compra (PPC) estabelece que, no longo prazo, os níveis de preço nacional e estrangeiro são iguais quando medidos em termos da mesma moeda. Como é em geral aceite, esta relação deriva directamente da “Lei do Preço Único” ao nível internacional, que estabelece que o comércio livre de bens garante preços idênticos entre os países nos pressupostos de todos os bens serem transaccionáveis com custos de transporte nulos; não existirem obstáculos às trocas; existir homogeneidade perfeita dos bens nacionais e estrangeiros e da concorrência ser perfeita. Na sua versão absoluta, a PPC implica que uma unidade de moeda, após conversão, deve trocar-se contra o mesmo cabaz de bens na economia nacional e fora dela [17].

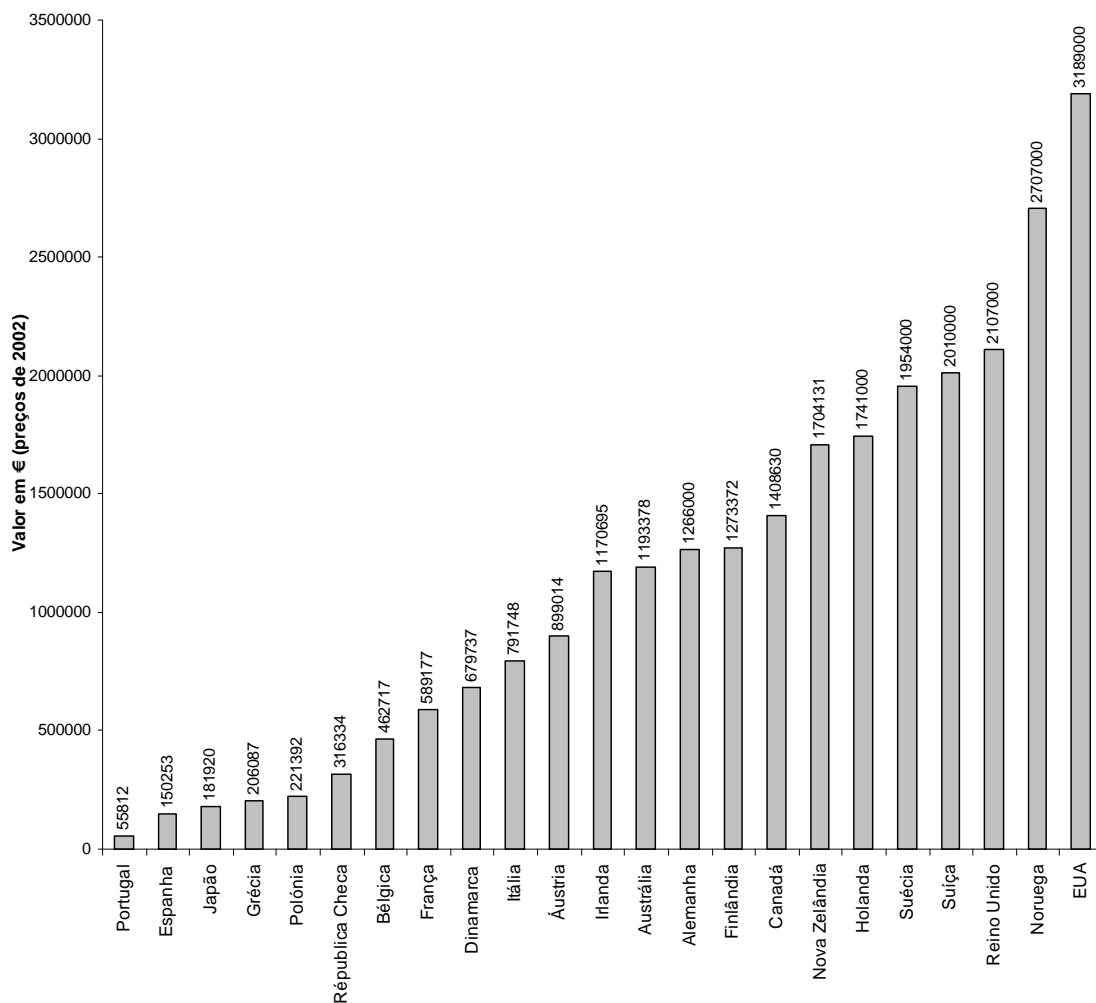


Figura 10 – Avaliação monetária da prevenção de uma vítima fatal em acidente rodoviário em 23 países - Preços de 2002 em PPC (adaptado de [19]).

A extensa gama de valores monetários atribuídos a vítimas fatais nos diversos países (em que Portugal¹⁷ aparece como o país em que essa valorização é menor) ilustra claramente o cuidado que deve ser empregue na transposição para o contexto nacional dos resultados das análises custo-benefício feitas noutros países a uma determinada medida de segurança rodoviária. Embora os custos de muitas medidas de segurança rodoviária possam ser ligeiramente menores nos países que atribuem um valor mais baixo para a prevenção de um

¹⁷ Segundo Sælensmind [65], os dados referentes a Portugal resultam de um relatório elaborado em 1994 para o European Bank of Investment pela empresa TIS, denominado “*Estimativas de tráfego e de benefícios sociais e ambientais de linha Alameda-Expo do Metropolitano de Lisboa*”. Estes dados são, de acordo com Bristow *et al.* [7], baseados nos custos do seguro automóvel.

acidente mortal de viação, é pouco provável que as diferenças no custo total compensem as diferenças registadas no valor dado aos benefícios da prevenção de acidentes rodoviários com vítimas fatais.

As mais recentes recomendações para o cálculo dos custos de acidentes são dadas em relatório do projecto europeu HEATCO [35] que inclui um conjunto harmonizado de valores de referência para um conjunto de países europeus.

Para o caso de Portugal¹⁸, o valor da segurança *per se* (que no caso de vítima mortal corresponde ao VVE) aí estimado foi de 730 000 € (acidente com vítima mortal) e 95 000 € (acidente com feridos graves). O custo esperado para evitar um acidente rodoviário, já incluindo também os custos directos e indirectos é de 803 000 € (acidente com vítima mortal), 107 400 € (acidente com feridos graves) e 7 400 € (acidente com feridos leves), a preços de 2002.

Os mesmos valores quando expressos em paridade do poder de compra a preços de 2002 correspondem, respectivamente, a 1 055 000 €, 141 000 € e 9 700 €.

De destacar que estes valores, para além de significativamente diferentes dos anteriormente apresentados, são correntemente utilizados em Portugal no âmbito de Estudos de Impactes Económicos, nomeadamente em concessões e subconcessões rodoviárias ([57], [58], [43], [76] e [77]).

Por existirem diferentes fontes de informação para os valores de VVE e sendo a componente dos acidentes um factor fundamental da ACB de elementos da AAFR, revela-se necessário perceber qual a resposta do sistema de avaliação das alternativas a uma alteração destes valores, pelo que se recomenda a análise de sensibilidade.

¹⁸ Os dados referentes a Portugal têm por base os resultados do projecto europeu UNITE [49]. Neste projecto é igualmente referido o relatório da Prevenção Rodoviária Portuguesa “Custo Sócio-Economico dos Acidentes Rodoviários em 1987 – Relatório Síntese” como uma das fontes de informação.

De acordo com o “Guide to Cost-Benefit Analysis of investment projects” da UE [22] devem ser consideradas como variáveis críticas todas aquelas que, para uma alteração de 1% no seu valor, impliquem uma variação correspondente de 5% ou mais no VAL do projecto. Assim, na tarefa WP8 do presente estudo será desenvolvida uma análise de sensibilidade com vista a uma avaliação das variáveis críticas do sistema de avaliação, fazendo flutuar os valores de algumas das variáveis, mantendo as restantes inalteradas e observando as alterações correspondentes nos resultados das componentes de custos e benefícios considerados no referido sistema, bem como dos indicadores económicos considerados.

No Quadro 7 são apresentados os valores de sinistralidade das fontes LNEC e HEATCO, já actualizados para 2010, de acordo com dados oficiais relativos à inflação do Instituto Nacional de Estatística (INE).

Quadro 7 – Estimativa de custos de acidentes para Portugal (€ a preços de 2010)

Fonte	Morto	Ferido grave	Ferido leve
LNEC	698 857	33 893	370
HEATCO	860 598	111 996	8 606

5 CONCLUSÕES

No presente documento descrevem-se os resultados da análise dos custos que podem ser associados aos acidentes por invasão da AAFR.

Na primeira parte foram descritos os instrumentos disponíveis para a avaliação da eficácia das possíveis intervenções correctivas na AAFR (análises custo-benefício e custo-eficácia), descrevendo-se procedimentos vocacionados para a abordagem de problemas específicos da AAFR, tais como sistemas de retenção de veículos, postes de iluminação, electricidade e telefones ou suportes frágeis.

Seguidamente é analisada a gravidade esperada de um embate em caso de despiste. São definidos critérios de avaliação da gravidade das consequências associadas a este tipo de acidente e são estabelecidas relações entre os diversos critérios de avaliação. Verificou-se que é escasso o conhecimento quanto à forma como estes critérios se relacionam entre si, e que em alguns casos a relação entre estes critérios indicia incompatibilidades. Esta é uma questão especialmente importante para a concepção de um sistema de avaliação de alternativas de intervenção na AAFR, como aquele cujo desenvolvimento está previsto neste trabalho, no âmbito da tarefa WP8 – Arquitectura do sistema de avaliação das alternativas.

É ainda estimada a gravidade esperada dos despistes em estradas da Rede Rodoviária Nacional. A análise da gravidade das consequências foi feita com base nos resultados da anterior tarefa WP2 - Análise de dados de sinistralidade e modelação de despistes, recorrendo à base de dados de acidentes rodoviários, existente no Núcleo de Planeamento, Tráfego e Segurança do Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC).

Por último, é abordada a monetarização das intervenções, sendo estimados para Portugal os custos associados às intervenções correctivas passíveis de serem implementadas na AAFR. Esta estimativa foi obtida a partir da consulta de valores correntes de obras recentemente realizadas no nosso país. É igualmente feita uma estimativa do custo sócio-económico dos acidentes rodoviários em Portugal, com base nos estudos existentes sobre esta matéria.

Lisboa, LNEC, Dezembro de 2011

VISTOS



António Lemonde de Macedo
Investigador Coordenador
Director do Departamento de Transportes

AUTORIAS



Carlos Roque
Bolsheiro de Projecto FCT



João Lourenço Cardoso
Investigador Principal com Habilitação
Chefe do Núcleo de Planeamento Tráfego e Segurança



Elisabete Arsenio
Investigadora Auxiliar, PhD (ITS, UK)

BIBLIOGRAFIA

- 1 Al-Ghamdi, A. S.(2002). Using Logistic Regression to Estimate the Influence of Accident Factors on Accident Severity. *Accident Analysis and Prevention*. Volume 34, Issue 6, November 2002, Pages 729-741.
- 2 American Association of State Highway and Transportation Officials (2002). *Roadside Design Guide*.
- 3 Arsénio, E. (2005). *Participação do LNEC na Rede Temática Europeia ROSEBUD – Road Safety and Environmental Benefit-Cost and Cost-Effectiveness Analysis for Use in Decision Making*. LNEC, Lisboa.
- 4 Arsénio, E.; Cardoso, J. L.; Macedo, A. L. (2004). *Análise Custo-Benefício de Medidas de Segurança Rodoviária e dos Seus Impactes Ambientais*. 3º Congresso Rodoviário Português. CRP, Lisboa.
- 5 Autoridade Nacional de Segurança Rodoviária (2009). *Observatório de Segurança Rodoviária. Ano de 2009 – Sinistralidade Rodoviária*.
- 6 Autoridade Nacional de Segurança Rodoviária (2010). *Vítimas mortais a 30 dias*. Observatório de Segurança Rodoviária. Novembro de 2010 – Sinistralidade Rodoviária.
- 7 Bristow, A. L.; Nellthorp, J. (2000). Transport project appraisal in the European Union. *Transport Policy* 7, 51-60.
- 8 Cardoso, João L. (2007). *Métodos Racionais de Apoio à Intervenção da Engenharia em Segurança Rodoviária*. Programa de Investigação apresentado para a obtenção do título de “Habilitado para o exercício de funções de Coordenação de Investigação Científica”, LNEC.
- 9 CEDR - Conference of European Directors of Roads (2008). *Best practice for cost-effective road safety infrastructure investments*. Full Report prepared by the Conference of European Directors of Roads. CEDR report 2008/03.

- 10 Comissão das Comunidades Europeias (2000). Comunicação da comissão ao conselho, ao Parlamento Europeu, ao Comité Económico e Social e ao Comité das Regiões. Prioridades na Segurança Rodoviária na UE. Relatório de progresso e classificação de acções. Bruxelas, 17.03.2000. COM(2000) 125 final.
- 11 Comissão Europeia (2003). Manual de Análise de Custos e Benefícios de Projectos de Investimento – DG Política Regional,
- 12 Comissão Europeia (2006). Orientações sobre a metodologia para a realização de análises custo-benefício. Documento de Trabalho 4. Documentos de trabalho sobre a metodologia. DG -Política Regional.
- 13 COST 331 (1994). Socio-economic cost of road accidents; Final Report, Transport Research, EC.
- 14 Council, F.; Zaloshnja, E.; Miller,T.; Persaud, B. (2005). Crash cost estimates by maximum police-reported injury severity within selected crash geometries. FHWA-HRT-05-051. Office of Safety Research and Development, FHWA.
- 15 Council, Forrest M., and J. Richard Stewart. (1993). Attempt to Define Relationship between Forces to Crash-Test Vehicles and Occupant Injury in Similar Real-World Crashes. In Transportation Research Record 1419, TRB, National Research Council, Washington, D.C., 1993, pp 78-85.
- 16 Department for Transport (2006). Economic assessment of road schemes. The COBA manual. Part 0 - The application of the COBA manual (updated June 2006), 2002. DMRB 13.1. Design manual for roads and bridges.
- 17 Duarte, A. P. (2001). Paridade do Poder de Compra e das Taxas de Juro: Um Estudo Aplicado a Três Países da UEM. Faculdade de Economia da Universidade de Coimbra. Grupo de Estudos Monetários e Financeiros (GEMF). Coimbra, Portugal.
- 18 Elvik, R. (2002). How would setting policy priority according to cost-benefit analyses affect the provision of road safety? Accident Analysis and Prevention, 868, 1:14.

- 19 Elvik, R.; Høy, A.; Vaa, T.; Sørensen, M. (2009). *The Handbook of Road Safety Measures*. Second Edition. Elsevier Science, Oxford.
- 20 Elvik, Rune (2001). Cost–benefit analysis of road safety measures: applicability and controversies. *Accident Analysis and Prevention* 33 (2001) 9–17.
- 21 ETSC (2003). *Cost effective EU Transport Safety Measures*. European Transport Safety Council, Brussels 2003. ISBN: 90-76024-16-2.
- 22 European Commission (2008), *Guide to Cost-Benefit Analysis of investment projects, Structural Funds, Cohesion Fund and Instrument for Pre-Accession – Final Report*, Directorate General Regional Policy.
- 23 European Committee for Standardization (2007). EN 1317-1 Road Restraint Systems—Part 1: Terminology and General Criteria for Test Methods. Technical Committee CEN/TC 226, Brussels.
- 24 European Committee for Standardization (2007). EN 1317-2 Road Restraint Systems—Part 2: Performance Classes, Impact Test Acceptance Criteria and Test Methods for Safety Barriers. Technical Committee CEN/TC 226 , Brussels.
- 25 European Road Safety Observatory (2006). *Cost-benefit analysis*, retrieved January 31, 2011 from www.erso.eu
- 26 FHWA (1992). *Safety Effectiveness of Highway Design Features (Vol. I-VI)*, Publication N°. FHWA-RD-91-044 to 049, Federal Highway Administration, Washington, D.C.
- 27 Gabauer, D. (2008). *Predicting Occupant Injury with Vehicle-Based Injury Criteria in Roadside Crashes*. Dissertation submitted to the faculty of the Virginia Polytechnic Institute and State University in partial fulfillment of the requirements for the degree of Doctor of Philosophy In Biomedical Engineering. June 6, 2008 Blacksburg, Virginia.
- 28 Gabauer, D.; Thomson, R. (2005). *Correlation of Vehicle and Roadside Crash Test Injury Criteria*. Paper No. 05-0283-O. The 19th International Technical Conference on the Enhanced Safety of Vehicles (ESV). U.S. Department of Transportation. National Highway Traffic Safety Administration. Washington D.C. June 6-9, 2005.

- 29 Gabauer, D.J.; Gabler, H.C. (2005). Evaluation of Threshold values of acceleration severity index by using event data recorder technology. *Transport. Res. Record* 1904, 37–45.
- 30 Glennon J.C., (1974). *Roadside Safety Improvements. Programs on Freeways. A Cost-effectiveness Priority Approach.* National Cooperative Highway Research Program Report 148, Transportation Research Board.
- 31 Graham, J. D., Vaupel, J. W. (1981). Value of a Life: What Difference Does It Make? *Risk Analysis.* Volume 1 Issue 1, Pages 89 – 95.
- 32 Grant-Muller, S. M.; Mackie, P.; Nellthorp, J.; Pearman, A. (2001). Economic appraisal of European transport projects: the state-of-the-art revisited. *Transport Reviews*, 21: 2, 237 — 261
- 33 Haddadin, S.; Albu-schäffer, A.; Hirzinger, G. (2007). Safety evaluation of physical human-robot interaction via crash-testing. 2007 Robotics: Science and Systems Conference, Atlanta, GA, USA.
- 34 Hartung, J.; Knapp, G.; Sinha B. K. (2008). *Statistical Meta-Analysis with Applications.* John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey.
- 35 HEATCO D5 (2006), *Developing Harmonised European Approaches for Transport Costing and Project Assessment, Deliverable 5 - Proposal for Harmonised Guidelines,* February.
- 36 <http://www.aam1.org> acedido em 17.02.2011.
- 37 <http://www.carmagazine.co.uk> acedido em 23.02.2011.
- 38 <http://www.euroncap.com/> acedido em 24.02.2011.
- 39 Hutchinson J. W., Kennedy T. W. (1966). *Medians of Divided Highways - Frequency and Nature of Vehicle Encroachments.* Engineering Experiment Station Bulletin 487, University of Illinois.

- 40 ICF Consulting (2003). Cost-benefit analysis of road safety improvements. ICF Consulting, London.
- 41 Kim, K., Lawrence, N., Richardson, J., Li, L. (1995). Personal and behavioral predictors of automobile crash and injury severity. *Accident Analysis and Prevention* 27 4 (1995), pp. 469–481.
- 42 King K. (1995). Methods for analyzing the Cost-Effectiveness of Roadside Safety Features, Texas A&M University, Roadside Safety Issues, Transportation Research Circular n° 435.
- 43 KPMG II (2008). Estudo de Impacto Económico Global. Subconcessão Douro Interior KPMG II – Consultores de Negócios, S.A. Novembro de 2008.
- 44 LNEC (1999). Participação do LNEC nos Estudos Sobre Imputação dos Encargos pela Utilização de Infra-estruturas - Primeiro Relatório, Relatório 60/99 - NTSR, Laboratório Nacional de Engenharia Civil.
- 45 LNEC (2000). Participação do LNEC nos Estudos Sobre Imputação dos Encargos pela Utilização de Infra-estruturas - Segundo Relatório, Relatório 59/00 - NTSR, Laboratório Nacional de Engenharia Civil.
- 46 LNEC (2008) Estudo para análise técnica comparada das alternativas de localização do Novo Aeroporto de Lisboa na zona da Ota e na zona do campo de tiro de Alcochete 2ª Fase - Avaliação comparada das duas localizações. Estudo realizado para o Ministério das Obras Públicas, Transportes e Comunicações. RELATÓRIO 2/2008 – DT. LNEC, Lisboa.
- 47 LNEC (2005). Participação do LNEC na rede temática europeia ROSEBUD – “Road Safety and Environmental Benefit-Cost and Cost-Effectiveness Analyses for Use in Decision Making”. RELATÓRIO 412/05 – NPTS. Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa.
- 48 Lynam D.A., Kennedy J.V. (2005). The Travel of Errant Vehicles after Leaving the Carriageway. PUBLISHED PROJECT REPORT PPR298. Version: 1. Prepared for:

Project Record: 3/372/R14 Travel of Errant Vehicles after Leaving the Carriageway.
TRL Limited May 2005.

- 49 Macário, R.; Carmona, M.; Caiado, G.; Rodrigues, A.; Martins, P.; Link, H.; Stewart, L.; Bickel, P.; Doll, C. (2003). UNITE (UNification of accounts and marginal costs for Transport Efficiency) Working Funded by 5th Framework RTD Programme. ITS, University of Leeds, Leeds.
- 50 Mak K.K., Sicking D.L. (2003). Roadside Safety Analysis Program (RSAP) - Engineer's Manual. NCHRP REPORT 492. Washington D C, USA.
- 51 McGee, H. W.; Hughes, W.E.; Daily, K. (1995). Effect of Highway Standards on Safety, NCHRP Report 374, Transportation Research Board.
- 52 McGinnis, R.G. (1999). Reexamination of roadside encroachment data (with discussion and closure). Transportation Research Record No. 1690, Paper No. 99-11380.
- 53 Montella, A. (2000). Benefit/Cost Analysis for the selection of roadside safety alternatives, Road Safety on three Continents, Pretoria.
- 54 Montella, A. (2001). Selection of Roadside Safety Barrier Containment Level According to European Union Standards. Transportation Research Record 1743, Paper No. 01-2102, 104–110.
- 55 NCHRP (1994). Severity Indices for Roadside Features – A Synthesis of Highway Practice, NCHRP Synthesis 202, National Research Council, Transportation Research Board.
- 56 NHTSA (1999). Preliminary Economic Assessment. Snprm. Fmvss N°. 208. Advanced Air Bags. Office of Regulatory Analysis & Evaluation Plans and Policy. National Highway Traffic Safety Administration. October, 1999.
- 57 Reis, J., P. Godinho, E. Barata e L. Cruz (2008), Estudo Integrado dos Impactes Económicos Globais associados às Concessões da AE Transmontana, Túnel do Marão e Douro Interior, FEUC, Coimbra.

- 58 Reis, J., P. Godinho, E. Barata e L. Cruz (2009), Estudo Integrado dos Impactes Económicos Globais associados às Concessões do Algarve Litoral e Baixo Alentejo (Versão intermédia), FEUC, Coimbra.
- 59 RISER (2005). D06: European Best Practice for Roadside Design: Guidelines for Roadside Infrastructure on New and Existing Roads. European Community R&TD Project, 5th Framework Programme “Growth”, Project "RISER" GRD2/2001/50088.
- 60 Rodrigues, M. J. (2007). Avaliação económica de projectos rodoviários em Portugal: Estimação de Custos e Benefícios para os utentes. Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia do Território. Instituto Superior Técnico. Universidade Técnica de Lisboa.
- 61 ROSEBUD (2004). WP3: The Use of Efficiency Assessment Tools: Solutions to Barriers. European Community R&TD Project, 5th Framework Programme “Competitive and Sustainable Growth”, Project "ROSEBUD" Road Safety and Environmental Benefit-Cost and Cost-Effectiveness Analysis for Use in Decision-Making. GTC2/2000/33020.
- 62 ROSEBUD (2005). WP1: Screening of efficiency assessment experiences. Report “State of the art”. European Community R&TD Project, 5th Framework Programme “Competitive and Sustainable Growth”, Project "ROSEBUD" Road Safety and Environmental Benefit-Cost and Cost-Effectiveness Analysis for Use in Decision-Making. GTC2/2000/33020.
- 63 ROSEBUD (2005). WP4: Testing the efficiency assessment tools on selected road safety measures. European Community R&TD Project, 5th Framework Programme “Competitive and Sustainable Growth”, Project "ROSEBUD" Road Safety and Environmental Benefit-Cost and Cost-Effectiveness Analysis for Use in Decision-Making. GTC2/2000/33020.
- 64 ROSEBUD (2005). WP5: Recommendations. European Community R&TD Project, 5th Framework Programme “Competitive and Sustainable Growth”, Project "ROSEBUD"

Road Safety and Environmental Benefit-Cost and Cost-Effectiveness Analysis for Use in Decision-Making. GTC2/2000/33020.

- 65 Sælensminde, K. (2001). Verdsetting av trafikksikkerhet i ulike lands nyttekostnadsanalyser. Arbeidsdokument SM/1342. Transportøkonomisk institutt, Oslo.
- 66 Schmitt, K.; Niederer, P. F.; Muser, M. H.; Walz F. (2007). Trauma Biomechanics. Accidental injury in traffic and sports. Second Edition. Springer. ISBN 978-3-540-73872-5.
- 67 Shojaati, M. (2003). Correlation between injury risk and impact severity index ASI, Proceedings of the 3rd Swiss Transport Research Conference Monte Verita/Ascona, March 19–21 (2003).
- 68 Sicking D L , Ross H.E. (1986). Benefit-cost analysis of roadside safety alternatives. Transportation Research Record 1065, pp 98-105. Washington D C, USA.
- 69 Sobhani, A., et al. (2010). A kinetic energy model of two-vehicle crash injury severity. *Accid. Anal. Prev.* (2010), doi:10.1016/j.aap.2010.10.021
- 70 SWOV (2005). Cost-benefit analysis of road safety measures. SWOV Fact sheet. SWOV, Leidschendam.
- 71 SWOV (2005). The valuation of human costs of road deaths. SWOV Fact sheet. SWOV, Leidschendam.
- 72 SWOV (2007). Road crash costs. SWOV Fact sheet, March 2007. SWOV, Leidschendam.
- 73 SWOV (2007). Road crash costs. SWOV Fact sheet. SWOV, Leidschendam.
- 74 SWOV (2007). The valuation of human costs of road deaths. SWOV Fact sheet, January 2007. SWOV, Leidschendam.
- 75 SWOV (2008). Cost-benefit analysis of road safety measures. SWOV Fact sheet, June 2008. SWOV, Leidschendam.

- 76 TIS (2008), Actualização do Estudo de Impactes Globais Económicos da Subconcessão da AE Transmontana, versão de 21/11/2008.
- 77 TIS (2009), Actualização do Estudo de Impactes Globais Económicos da Subconcessão do Baixo Alentejo, versão de 27/01/2009.
- 78 Transportation Research Board (1987). Designing safer roads. Special Report SR 214, TRB, National Research Council, Washington D.C.
- 79 TRL (2001). Cost-benefit analysis of measures for vulnerable road users. Final report of workpackage 5 in EU project PROMISING. Transport Research Laboratory, Crowthorne.
- 80 Workgroup Data Processing Vehicle Safety (2004). Crash Analysis Criteria Version 1.6.1. Bundesanstalt für Straßenwesen, Brüderstraße 53, D-51427 Bergisch Gladbach.
- 81 Zaloshnja, E., Miller, T., Romano, E., Spicer, R., 2004. Crash costs by body part injured, fracture involvement, and threat to life severity, United States, 2000. *Accid. Anal. Prev.* 36 (3), 415–427.
- 82 Zaloshnja, E.; Miller, T.; Council, F.; Persaud, B. (2006). Crash costs in the United States by crash geometry. *Accident Analysis and Prevention* 38, 644–651.
- 83 Zegeer, C.V.; Cynecki, M.J (1984). Determination of Cost-Effective Roadway Treatments for Utility Pole Accidents, Safety Appurtenances and Utility Accommodation, Transportation Research Record n°970, Transportation Research Board.

ANEXOS

ANEXO I – Glossário das abreviaturas mais utilizadas

Abreviatura	Designação	
	Português	Inglês
AAFR	Área adjacente à faixa de rodagem	<i>Roadside</i>
ACB	Análise custo-benefício	<i>Cost-benefit analysis</i>
ACE	Análise custo-eficácia	<i>Cost-effectiveness analysis</i>
AIS	Escala Abreviada de Lesão	<i>Abbreviated Injury Scale</i>
ANSR	Autoridade Nacional de Segurança Rodoviária	-
ASI	Índice de gravidade da aceleração	<i>Acceleration Severity Index</i>
BEAV	Boletim Estatístico de Acidentes de Viação	-
BT-GNR	Brigada de Trânsito da GNR	-
CEDR	Conferência Europeia de Directores Rodoviários	<i>Conference of European Directors of Roads</i>
EDR	gravadores de dados de eventos	<i>Event Data Recorders</i>
ETSC	Conselho Europeu de Segurança nos Transportes	<i>European Transport Safety Council</i>
EUA	Estados Unidos da América	-
GNR	Guarda Nacional Republicana	-
HIC	Critério de Ferimento na Cabeça	<i>Head Injury Criterion</i>
INE	Instituto Nacional de Estatística	
ISS	Pontuação da Gravidade da Lesão	<i>Injury Severity Score</i>
LNEC	Laboratório Nacional de Engenharia Civil	-
MAIS	Escala Abreviada de Lesão Máxima	<i>Maximum Abbreviated Injury Scale</i>
NHTSA	-	<i>National Highway Traffic Safety Administration</i>
PHD	Desaceleração pós-impacto da cabeça	<i>Post-impact Head Deceleration</i>
PPC	Paridade do poder de compra	<i>Purchasing power parity</i>
PRN	Plano Rodoviário Nacional	-
PRP	Prevenção Rodoviária Portuguesa	-
PSP	Polícia de Segurança Pública	-
RRN	Rede Rodoviária Nacional	-
THIV	Velocidade de impacto da cabeça teórica	<i>Theoretical Head Impact Velocity</i>
TIR	Taxa Interna de Rentabilidade	<i>Internal rate of return</i>
TM	Taxa de mortalidade	-
TRB	-	<i>Transportation Research Board</i>
TSG	Taxa de sinistralidade grave	-
TSL	Taxa de sinistralidade leve	-

Abreviatura	Designação	
	Português	Inglês
VAL	Valor Actual Líquido	<i>Net present value</i>
VCDI	Índice de deformação da cabina do veículo	<i>Vehicle Cockpit Deformation Index</i>
VVE	Valor da Vida Estatística	<i>Value of a Statistical Life</i>

